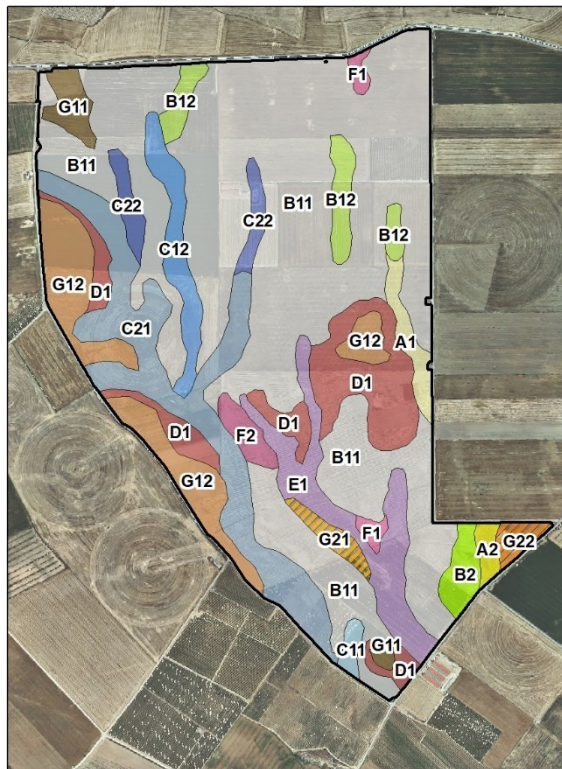
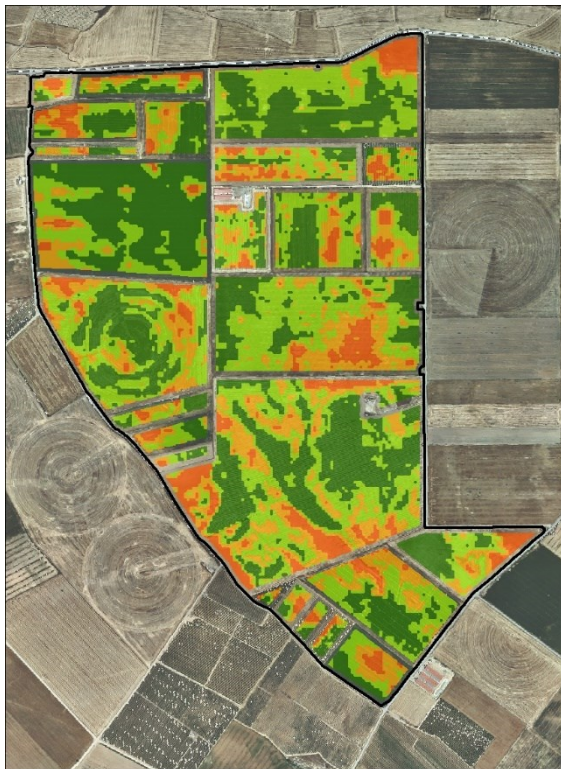


PROTOCOL PER A LA MILLORA DE L'OBTENCIÓ DE CARTOGRAFIA DE SÒLS A ESCALA INTRAPARCEL·LÀRIA A PARTIR D'IMATGES DE TELEDETECCIÓ PER A LA SEVA UTILITZACIÓ EN EL MANEIG DIFERENCIAL DELS SÒLS I DELS CULTIUS



Projecte Life+ Futur Agrari

LIFE12 ENV/ES/000647



Autors:

José A. Martínez Casasnovas (Universitat de Lleida)

Gustau Carrillo Mahiques (Vèrtex Agroforestal)

Antoni Riba Chacón (Vèrtex Agroforestal)



Universitat
de Lleida



Protocol per a la millora de l'obtenció de cartografia de sòls a escala intraparcels·lària a partir d'imatges de teledetecció per a la seva utilització en el maneig diferencial dels sòls i dels cultius.

Aquest treball ha estat ideat i cofinançat gràcies al Projecte LIFE+ Futur Agrari (LIFE12 ENV/ES/000647) dins el Programa LIFE+ 2007-2013.

Autors: José A. Martínez Casasnovas (Universitat de Lleida), Gustau Carrillo Mahiques (Vèrtex Agroforestal), Antoni Riba Chacón (Vèrtex Agroforestal)

Participació: Carlos Ortiz Gama, Carmen Herrero Isern (Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació), Francesc Domingo Olivé, Marc Jabardo Camprubí (Fundació Mas Badia).

Informe relatiu al contracte AG/G2028 AG-2017-828 “Life Futur Agrari. Treball millora resolució mapa sòls Cat.Tècn.teled”. Servei de Sòls i de Gestió Mediambiental, Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació
--

Versió 1: 03/12/2017

Versió revisada: 02/03/2018

Resum

Introducció, antecedents i objectiu: el present treball representa un exemple de com les tecnologies de la informació geogràfica (Teledetecció) i de sensors pròxims de sòls (mesurador de la conductivitat elèctrica aparent en continu, CEa) poden ajudar a l'increment del nivell de detall de mapes de sòls realitzats per metodologies clàssiques basades en l'anàlisi fisiogràfica. Així, aquests mapes de sòls de major detall poden ser més útils que els existents a escales 1:25.000 per aplicacions en el maneig diferencial dels sòls i dels cultius, paradigma que s'ha vingut a anomenar d'Agricultura de Precisió. L'àrea d'estudi on es va desenvolupar el treball és un àrea pilot de la zona regada pel Canal de l'Algerri-Balaguer, la qual es va cartografiar a 1:25.000 a principis dels anys 1990, prèviament a la concentració parcel·lària. En aquesta àrea s'ha desenvolupat el projecte Life Futur Agrari - LIFE12 ENV/ES/000647, amb l'objectiu de l'assessorament agrícola en parcel·les d'aquests nous regadius. Tenint en compte la informació disponible recollida al llarg del projecte Life Futur Agrari, tant de cartografia com de maneig de les explotacions i de teledetecció, el present treball té l'objectiu d'elaborar un protocol que aportï millores a l'obtenció de cartografia de sòls per tal que pugui ser d'utilitat en recomanacions a escala intraparcels·l·ària en el maneig diferencial dels sòls i dels cultius.

Metodologia: ha tingut en compte l'ús d'imatges aèries multiespectrals, de satèl·lit d'alta resolució espacial (WorldView-2) i del satèl·lit Sentinel-2A (imatges gratuïtes amb una cobertura temporal de 10 dies). També es va analitzar el model digital de terreny de 2 m. Es va fer una cartografia de la CEa amb el sensor de contacte galvànic Veris 3100 en 6 parcel·les de l'àrea pilot i 56 sondejos amb barrina manual per descriure els sòls segons un mostreig estratificat d'acord a les zones de vigor dels cultius i de la CEa.

Resultats: Les imatges del satèl·lit Sentinel-2 s'han mostrar més adequades que les imatges d'avioneta o bé amb satèl·lits de molt alta resolució (p.e. WorldView-2). Això és degut a que la resolució de Sentinel-2 és més acord amb el grau variabilitat dels sòls que no les imatges de més detall, que poden afegir soroll degut a altres factors com mala naixença del cultiu, problemes de reg, que no depenen tant del sòl. Així, la zonificació basada en índex de vegetació del Sentinel-2 ha permès redefinir les unitats cartogràfiques de sòls sense augmentar en excés el número d'observacions de camp. La cartografia de la CEa ha permès confirmar la informació derivada dels mapes de classes de vigor (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI; i Green Normalized Difference Vegetation Index, GNDVI), i ha posat de manifest la variabilitat d'algunes propietats com l'existència de freàtics i nivells de salinitat en profunditat que poden no reflectir-se a les imatges de vigor pel tipus de cultiu present i/o pel maneig del reg. Tant els mapes de vigor com els de CEa van ser utilitzats per dirigir el mostreig de sòls amb l'objectiu d'intensificar la informació de sòls disponible. Així es van realitzar 56 sondejos amb barrina manual. En base a tota aquesta informació, el resultat del treball va ser la revisió de les unitats cartogràfiques del mapa de sòls, obtenint un nivell de detall adequat per aplicacions en el maneig diferencial dels sòls i dels cultius. En la descripció de les unitats es detalla l'aptitud agrícola dels sòls i també per al reg per aspersió segons criteris adaptats de l'USBR.

Annex: Detall del protocol del mètode desenvolupat per l'obtenció de mapes d'índex de vigor acumulats a partir de les imatges Sentinel-2 utilitzats en la zonificació de la variabilitat intraparcels·l·ària i indicativa de la possible variabilitat dels sòls.

Contingut

Resum	5
Índex de Taules	8
Índex de Figures	8
1. Antecedents i objectiu	11
2. Àrea d'estudi	13
3. Materials utilitzats	14
3.1. <i>Imatges multiespectrals adquirides amb avioneta i de satèl·lit d'alta resolució</i>	14
3.2. <i>Imatges de satèl·lit Sentinel-2</i>	14
3.3. <i>Sensor Veris 3100 per a la cartografia de la conductivitat elèctrica aparent del sòl</i>	15
3.4. <i>Mapa de Sòls de l'Àrea Regable del Canal d'Algerri-Balaguer</i>	16
3.5. <i>Sistemes d'Informació Geogràfica</i>	17
4. Anàlisi de les imatges multiespectrals: índex de vegetació i zonificació	18
4.1. <i>Procés realitzat amb les imatges multiespectrals</i>	18
4.2. Índex de vegetació amb les imatges d'avioneta i WorlView-2	23
4.3. Índex extrets de les imatges de Sentinel-2A	25
4.3.1. Mètode 1 Sentinel	25
4.3.2. Mètode 2 Sentinel	26
4.3.3. Mètode 3 Sentinel	28
5. Cartografia de la conductivitat elèctrica aparent del sòl (CEa)	30
6. Mostreig i descripció de sòls en camp	35
7. Proposta de mapa de sòls per aplicacions en el maneig diferencial de les parcel·les	38
8. Conclusions	43
Annex: Fonament i protocol detallat del càlcul dels índex de vegetació acumulats a partir de sèries temporals d'imatges Sentinel-2	46

Índex de Taules

Taula 1. Relació entre escala del mapa i tipus de cartografia de sòls.	11
Taula 2. Imatges aèries utilitzades en el present estudi.	14
Taula 3. Imatges de satèl·lit utilitzades en el present estudi a partir de les quals s'han calculat els índex de vegetació.	14
Taula 4. Característiques del mostreig de conductivitat elèctrica aparent amb el sensor Veris 3100.	30
Taula 5. Estadístiques bàsiques de la conductivitat elèctrica aparent (CEa) mesurada al conjunt de parcel·les de l'àrea d'estudi.	31
Taula 6. Descripció dels sondejos de sòls realitzats per a la intensificació del mostreig a l'àrea d'estudi.	36
Taula 7. Descripció de les unitats cartogràfiques del mapa de sòls revisat.	39
Taula 8. Especificacions per a la classificació de l'aptitud dels sòls per al reg per aspersió a l'àrea d'actuació del Canal Segarra-Garrigues.	42

Índex de Figures

Figura 1. Localització de l'àrea d'estudi escollida dintre de l'Àrea Regable del Canal Algerri-Balaguer.	13
Figura 2. Equip Veris 3100 de la Universitat de Lleida i gràfic conceptual del seu funcionament.	16
Figura 3. Unitats cartogràfiques del Mapa de Sòls detallat 1:25.000 de Catalunya a la zona pilot d'estudi amb la sobreimpressió del parcel·lari.	17
Figura 4. Procediment seguit en l'anàlisi de les imatges obtingudes mitjançant vols d'avioneta i satèl·lit d'alta resolució WorldView-2 relacionades a la Taula 2.	20
Figura 5. Procediment seguit segons el Mètode 1 Sentinel: l'anàlisi de les imatges obtingudes mitjançant el satèl·lit Sentinel-2A on es van analitzar totes les imatges relacionades a la Taula 3.	21
Figura 6. Procediment seguit segons el Mètode 2 Sentinel: anàlisi de les imatges de Sentinel-2A que coincideixen en les dates dels vols d'avioneta i de satèl·lit WorldView-2 (amb un marge diferència temporal d'una setmana).	22
Figura 7. Procediment seguit segons el Mètode 3 Sentinel: anàlisi de les imatges Sentinel-2A on es només es van tenir en compte les dates on en les imatges s'hi detecta la presència de cultiu (NDVI mig >0,4). a.	23
Figura 8. Classes de NDVI resultat del procediment seguit en l'anàlisi conjunta de les imatges obtingudes mitjançant vols d'avioneta i satèl·lit d'alta resolució WorldView2 (Figura 4) a les dates especificades a la Taula 2.	24
Figura 9. Classes de GNDVI resultat del procediment seguit en l'anàlisi conjunta de les imatges obtingudes mitjançant vols d'avioneta i satèl·lit d'alta resolució WorldView2 (Figura 4) a les dates especificades a la Taula 2.	24
Figura 10. Classes de NDVI resultat del procediment seguit en l'anàlisi de les imatges obtingudes mitjançant el satèl·lit Sentinel-2A (Mètode 1 Sentinel: Figura 5, anàlisis de totes les imatges obtingudes per als anys 2015 a 2017, totes les imatges llistades a la Taula 3).	25
Figura 11. Classes de GNDVI resultat del procediment seguit en l'anàlisi de les imatges obtingudes mitjançant el satèl·lit Sentinel-2A (Mètode 1 Sentinel: Figura 5, anàlisis de totes les imatges obtingudes per als anys 2015 a 2017, totes les imatges llistades a la Taula 3).	26

Figura 12. Classes de NDVI resultat del procediment seguit en l'anàlisi de les imatges obtingudes mitjançant el satèl·lit Sentinel-2 (Mètode 2 Sentinel: Figura 6, anàlisi de només les imatges que coincideixen amb les dates dels vols d'avioneta i de satèl·lit d'alta resolució WorldView-2, amb un marge de diferència temporal d'una setmana).	27
Figura 13. Classes de GNDVI resultat del procediment seguit en l'anàlisi de les imatges obtingudes mitjançant el satèl·lit Sentinel-2 (Mètode 2 Sentinel: Figura 6, anàlisi de només les imatges que coincideixen amb les dates dels vols d'avioneta i de satèl·lit d'alta resolució WorldView-2, amb un marge de diferència temporal d'una setmana).	27
Figura 14. Classes de NDVI resultat del procediment seguit en l'anàlisi de les imatges obtingudes mitjançant el satèl·lit Sentinel-2 (Mètode 3 Sentinel: Figura 7, anàlisi de les imatges dels 2015-2017 on el valor mig del NDVI a cada parcel·la es $>0,4$).	28
Figura 15. Classes de GNDVI resultat del procediment seguit en l'anàlisi de les imatges obtingudes mitjançant el satèl·lit Sentinel-2 (Mètode 3 Sentinel: Figura 7, anàlisi de les imatges dels anys 2015-2017 on el valor mig del GNDVI a cada parcel·la es $>0,4$).	29
Figura 16. Ubicació de les 2 parcel·les on es va cartografiar la conductivitat elèctrica aparent del sòl amb el sensor Veris 3100.	30
Figura 17. Exemple de semivariograma exponencial utilitzat en la interpolació geoestadística de la CEa Shallow (0-30 cm) de la parcel·la 1.	31
Figura 18. Criteri interpretatiu dels valors de conductivitat elèctrica aparent (CEa) segons la textura i la salinitat del sòl. Font: Veris Technologies Inc. (https://www.veristech.com/the-sensors/v3100).	32
Figura 19. Histogrames de freqüències de la CEa 0-30 cm (shallow) i 0-90 cm (deep) del conjunt de parcel·les cartografiades amb el sensor Veris 3100.	33
Figura 20. Conductivitat elèctrica aparent (CEa) de 0-30 cm (shallow) mesurada amb el sensor Veris 3100 a les parcel·les de l'àrea d'estudi.	34
Figura 21. Conductivitat elèctrica aparent de 0-90 cm (deep) mesurada amb el sensor Veris 3100 a les parcel·les de l'àrea d'estudi.	34
Figura 22. Comparació entre les classes de NDVI segons el Mètode 3 Sentinel i la conductivitat elèctrica aparent de 0-90 cm (deep) mesurada amb el sensor Veris 3100.	35
Figura 23. Localització dels sondejos amb barrina manual realitzats a l'àrea d'estudi per a la intensificació de sòls. A la llegenda es mostra la sèrie de sòls del Mapa de Sòls de Catalunya a la qual pertany cada perfil. També es mostren les unitats cartogràfiques d'aquest mapa de sòls.	36
Figura 24. Localització dels sondejos de sòls en relació a les classes de NDVI (esquerra) i la CEa 0-90 cm (dreta). També es mostren les unitats cartogràfiques d'aquest mapa de sòls.	38
Figura 25. Unitats cartogràfiques del mapa de sòls revisat. A la llegenda no apareix la fase de pendent, que en totes les unitats és de 2-5 % de pendent, excepte a la unitat G12 que és de 5-10 %.	39
Figura 26. Dreta: Mapa d'aptitud dels sòls per a reg per aspersió segons criteris adaptats de la metodologia de l'USBR, esquerra: Mapa d'unitats cartogràfiques de sòls revisades (veure llegenda a la Figura 25).	43

1. Antecedents i objectiu

Els mapes de sòls són representacions geogràfiques de la diversitat de tipus de sòls i/o propietats del sòl en àrees d'interès. Són el resultat final d'un inventari dels sòls en que es descriuen la seva localització en el paisatge, les característiques dels perfils, les relacions entre aquestes, l'aptitud per a diferents usos i les necessitats de tipus particulars de gestió, entre d'altres.

Als mapes, els sòls s'agrupen en unitats cartogràfiques per facilitar la seva visualització. Aquestes unitats cartogràfiques són les unitats bàsiques dels mapes de sòls. Cadascuna d'aquestes unitats es diferencia de les altres amb alguna o algunes característiques. Per que el mapa sigui consistent, a major escala de mapa major serà el nombre de observacions a realitzar a camp. Es sol acceptar una densitat de 0,5-1 observacions/cm² del mapa final a elaborar. Com més detallada és l'escala d'un mapa, més petita és la variabilitat espacial de les unitats cartogràfiques representades (grau de puresa més gran) i, per tant, més interessant serà el mapa per a poder fer prediccions amb vista a assignar adientment usos al territori (Taula 1).

Taula 1. Relació entre escala del mapa i tipus de cartografia de sòls.

Interval d'escala	Denominació escala / cartografia	Unitat cartogràfica base
Menor de 1:500 000	Molt petita / exploratòria	> 625 ha
100 000 - 500 000	petita / reconeixement	25 - 625 ha
25 000 - 100 000	Mitjana / semidetallada	1,5 - 25 ha
10 000 - 25 000	Gran / detallada	2500 - 15625 m ²
Més gran de 10 000	Molt gran / intensiva	< 2500 m ²

Des de la dècada de 1980 a Catalunya, i principalment en àrees de reg d'interès, s'ha vingut realitzant la cartografia detallada de sòls a escala 1:25.000. El projecte es va iniciar per les zones amb un ús del sòl més intensiu com són els regadius, realitzant fins a la data d'avui la cartografia de les principals zones regables del país.

Aquesta cartografia, però, resulta insuficient en molts casos per aplicacions a escala de parcel·la, com per exemple en Agricultura de Precisió. Amb aquest treball es vol millorar la informació aportada pel mapa de sòls 1:25.000 per ser d'utilitat en aplicacions diferencials a escala de parcel·la: fertilització, aigua de reg, dosis de sembra, etc. Com a fi últim, això ha de suposar la millora del rendiment agronòmic i econòmic de les parcel·les, juntament amb la minimització de l'impacte mediambiental de les pràctiques agrícoles.

Els mapes de sòls d'escala 1:25.000 es consideren semidetallats. La seva realització requereix una important prospecció de camp amb suport de fotointerpretació. És necessari estudiar de forma completa un mínim de dos perfils per cada 100 ha i fins a 8 sondejos amb els seus anàlisis corresponents. Les unitats cartogràfiques representen unes 5-25 ha i la precisió dels seus límits és d'uns 50 m. S'utilitza per a una completa avaluació econòmica i permet establir plans de viabilitat alternativa; són molt vàlids per a la implementació de plans de desenvolupament.

A un nivell més alt en quant a precisió estarien els mapes detallats. Són mapes d'escala grans de fins a 1: 10.000. En la seva realització predomina la prospecció de camp amb molt poc suport de fotointerpretació. És necessari estudiar, almenys, 2 perfils complets

per cada 10 ha i 8 perfils detallats. La unitat cartogràfica mínima és de 0,5 ha i la precisió dels seus límits està en uns 20 m. Permet dissenyar projectes concrets, plans de conservació de sòls i estudis a nivell de finca.

Un factor important que limita l'escala dels mapes de sòls són les observacions de camp necessàries per tal de possibilitar aquest augment d'escala, cosa que encareix la seva execució. Com a exemple, passar d'una escala 1:25.000 a 1:10.000 pot multiplicar per 5 el cost de la cartografia.

Un exemple d'aquesta problemàtica és la zona regada pel Canal de l'Algerri-Balaguer. Aquesta zona es va cartografiar a 1:25.000 a principis dels anys 1990, prèviament a la concentració parcel·l·lària. En aquesta àrea es desenvolupa el projecte **Life+ Futur Agrari**, que té com a un dels objectius l'assessorament agrícola en parcel·les d'aquests nous regadius. Com a eina per a l'assessorament per la fertilització nitrogenada, principalment del blat de moro, s'han utilitzat imatges multiespectrals d'alta resolució captades des d'avionetes i satèl·lits.

Tenint en compte la informació disponible recollida al llarg Futur Agrari, tant de cartografia com de maneig de les explotacions i de teledetecció, el present treball té **l'objectiu d'aportar millores a la cartografia de sòls existent per tal que pugui ser d'utilitat en recomanacions a escala intraparcels·l·lària en el maneig diferencial dels sòls i dels cultius (agricultura de precisió).**

Les condicions d'aquest treball són molt particulars, ja que es disposa d'una base cartogràfica prèvia a escala 1:25.000. Això fa que es pugui utilitzar aquesta com a catàleg de sòls de la zona i la feina de camp s'hagi limitat a la realització de sondatges manuals per tal de identificar les sèries de sòls present en cadascuna de les unitats mostrejades. En altres condicions, com serien l'absència d'una cartografia prèvia a menor escala, la feina de camp s'hauria de completar amb la realització d'escandalls (calicates) per identificar i descriure adequadament els sòls presents a la zona.

El document s'estructura diferents apartats que recullen les distintes fases del treball executat:

- a) Recopilació de la informació existent (mapa de sòls, imatges aèries i de satèl·lit multiespectrals),
- b) Anàlisi de la informació existent amb sistemes d'informació geogràfica (SIG),
- c) Adquisició d'informació de sòls a camp (sondejos, cartografia de la conductivitat elèctrica aparent amb sensor Veris 3100),
- d) Integració de la informació cartogràfica i de camp per a la proposta de zones de maneig diferencial.

2. Àrea d'estudi

Com àrea d'estudi es va considerar una zona pilot dins de les terres regades pel Canal Algerri-Balaguer. Aquesta zona té una superfície aproximada de 240 ha i s'emmarca dins de les coordenades de referència XY ETRS89 UTM 31 min 306560, 4628180; max 308350, 4630514 (Figura 1).

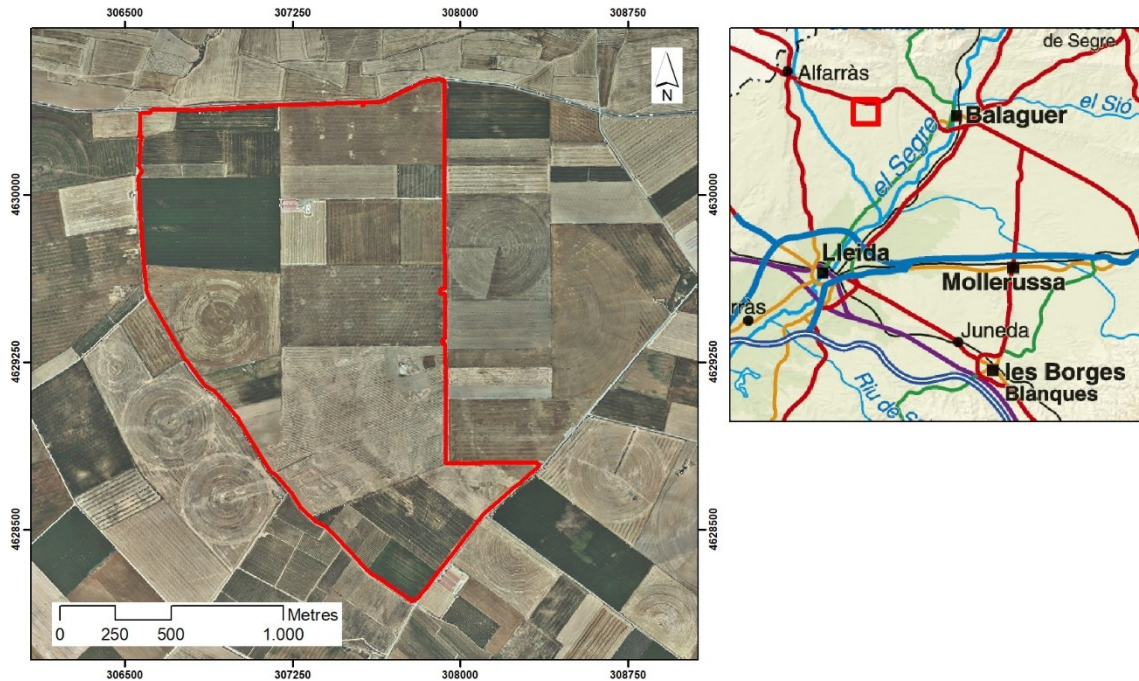


Figura 1. Localització de l'àrea d'estudi escollida dintre de l'Àrea Regable del Canal Algerri-Balaguer.

L'àrea d'estudi està situada a la unitat fisiogràfica del Peu de la Serra Llarga. Aquesta unitat està formada per una sèrie de col·luvions que tenen el seu origen a la Serra Llarga situada al nord de la unitat. Intercalats en aquests col·luvions apareixen una sèrie de petits relleus estructurals formats per nivells de gresos.

Els sòls presents a la unitat són, en general, de textures mitjanes, amb poques pedres i generalment presenten acumulacions secundàries de guixos i, amb menys quantitat, de carbonats.

3. Materials utilitzats

Seguidament es llisten els materials utilitzats en cadascuna de les fases del treball realitzat. Destaca l'ús d'imatges de satèl·lit, que a través del càlcul d'índex de vigor de la vegetació, permet aproximar-se al coneixement de la variabilitat de les propietats del sòl a escales més detallades que la de l'actual mapa de sòls 1:25.000. També, en determinades parcel·les, s'ha cartografiat la conductivitat elèctrica aparent amb un sensor de contacte galvànic, que permet un altre tipus de coneixement complementari a la variabilitat de les propietats dels sòls.

3.1. Imatges multiespectrals adquirides amb avioneta i de satèl·lit d'alta resolució

El Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació (DARP) va facilitar a la Universitat de Lleida una sèrie d'imatges obtingudes amb diferents plataformes i corresponents a diverses campanyes agrícoles. Amb aquestes imatges es va analitzar la variabilitat intraparcèl·laria de la resposta dels cultius mitjançant diversos índex espectrals. A la Taula 2 es detallen les imatges utilitzades.

Taula 2. Imatges aèries utilitzades en el present estudi.

Plataforma	Data	Any	Resolució (m)
WorldView 2	30-Juny	2015	2
WorldView 2	08-Juliol	2015	2
WorldView 2	24-Juliol	2015	2
WorldView 2	04-Agost	2015	2
Avioneta	19-Agost	2015	1
Avioneta	09-Juliol	2016	2
Avioneta	30-Juliol	2016	2
Avioneta	14-Agost	2016	2
Avioneta	02-Juliol	2017	2
Avioneta	04-Agost	2017	2
Avioneta	14-Agost	2017	2

3.2. Imatges de satèl·lit Sentinel-2

A la Taula 3 es relacionen les imatges de satèl·lit Sentinel-2A des de juliol de 2015 fins a final de setembre de 2017 utilitzades en el càlcul dels índex de vegetació. Les imatges d'aquest satèl·lit tenen una resolució espacial de 10 m en les bandes de l'espectre visible i infraroig proper. La resolució temporal és de 10 dies. Solament s'han utilitzat les imatges lliures de núvols a la zona d'estudi.

Taula 3. Imatges de satèl·lit utilitzades en el present estudi a partir de les quals s'han calculat els índex de vegetació.

Plataforma	Data	Any	Resolució (m)
Sentinel-2A	06-Juliol	2015	10
Sentinel-2A	16-Juliol	2015	10
Sentinel-2A	25-Agost	2015	10
Sentinel-2A	24-Setembre	2015	10
Sentinel-2A	12-Març	2016	10
Sentinel-2A	11-Abril	2016	10
Sentinel-2A	01-Maig	2016	10

Plataforma	Data	Any	Resolució (m)
Sentinel-2A	21-Maig	2016	10
Sentinel-2A	20-Juny	2016	10
Sentinel-2A	30-Juny	2016	10
Sentinel-2A	10-Juliol	2016	10
Sentinel-2A	20-Juliol	2016	10
Sentinel-2A	30-Juliol	2016	10
Sentinel-2A	19-Agost	2016	10
Sentinel-2A	18-Setembre	2016	10
Sentinel-2A	28-Setembre	2016	10
Sentinel-2A	17-Novembre	2016	10
Sentinel-2A	17-Desembre	2016	10
Sentinel-2A	16-Gener	2017	10
Sentinel-2A	15-Febrer	2017	10
Sentinel-2A	25-Febrer	2017	10
Sentinel-2A	07-Març	2017	10
Sentinel-2A	17-Març	2017	10
Sentinel-2A	06-Abril	2017	10
Sentinel-2A	16-Abril	2017	10
Sentinel-2A	06-Maig	2017	10
Sentinel-2A	16-Maig	2017	10
Sentinel-2A	26-Maig	2017	10
Sentinel-2A	15-Juny	2017	10
Sentinel-2A	05-Juliol	2017	10
Sentinel-2A	25-Juliol	2017	10
Sentinel-2A	04-Agost	2017	10
Sentinel-2A	14-Agost	2017	10
Sentinel-2A	13-Setembre	2017	10
Sentinel-2A	23-Setembre	2017	10

3.3. Sensor Veris 3100 per a la cartografia de la conductivitat elèctrica aparent del sòl

En sis parcel·les de l'àrea d'estudi es va caracteritzar la variabilitat de les propietats dels sòls mitjançant la mesura de la conductivitat elèctrica aparent mitjançant un sensor de contacte galvànic o de resistivitat. El sensor utilitzat ha estat el **Veris 3100** (<http://www.veristech.com/the-sensors/v3100>). Aquest aparell consisteix en una grada de discos que actuen com a elèctrodes. Uns injecten un corrent elèctric a 12 volts i altres mesuren la resistivitat en un volum de sòl explorat de 0-30 cm (Shallow) i de 0-90 cm (Deep). Les grades no llauen en sòl, sinó que solament penetren entre 2-5 cm per poder fer un bon contacte i poder mesurar el petit corrent elèctric que es genera.

La següent imatge (Figura 2) mostra l'equip Veris 3100 de la Universitat de Lleida i il·lustra el concepte de mesura de la conductivitat elèctrica a dues profunditats.

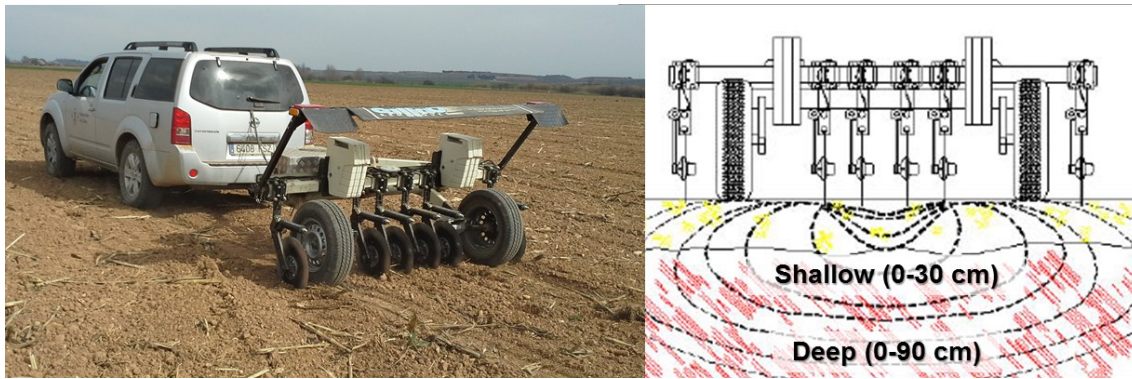


Figura 2. Equip Veris 3100 de la Universitat de Lleida i gràfic conceptual del seu funcionament.

El sensor del Veris 3100 registra dades cada segon, amb la qual cosa es poden adquirir moltes dades d'una parcel·la en poc temps, amb elevades densitats. A partir d'aquí es poden crear mapes continus de la propietat mitjançant una interpolació geoestadística. Aquestes mapes poden servir per detectar zones amb diferents tipologies de sòls i/o zonificar les parcel·les per a un tractament diferenciat (cas de l'agricultura de precisió). Per conèixer les propietats concretes dels sòls a les diferents zones, els sòls s'han de mostrejar i analitzar.

3.4. Mapa de Sòls de l'Àrea Regable del Canal d'Algerri-Balaguer

El Mapa de Sòls detallat (1:25.000) de Catalunya de l'Àrea Regable del Canal Algerri-Balaguer (La Noguera) es va realitzar a l'any 1991 per l'equip prospector format per E. Ascaso, J.R. Olarieta i J. Boixadera. Cobreix 10.000 ha dels municipis d'Albesa, Algerri, Balaguer, Castelló de Farfanya i Menàrguens.

Aquesta zona està emmarcada al nord per la Serra Llarga, exterior a l'àrea de treball, que té un origen estructural i diapíric. El nucli guixenc forma una depressió longitudinal, mentre que el relleu és sostingut per estrats de gres al flanc meridional de l'anticlinal. El pas del pendent estructural de la serra als plans en cap cas és brusc sinó que té lloc de manera gradual al llarg de la superfície còncava de dipòsits a peu de mont. El desenvolupament d'aquests dipòsits és proporcional a l'àrea font, de manera que se'n pot distingir una unitat menor: Col·luvions de la Serra Llarga (vessants de pendent suau). Les rampes al peu de la Serra Llarga tenen diferents nivells de base al llarg de la serra, que s'intercalen en el relleu preexistent, cons de la Serra Llarga, que són arenisques arrodonides. Aquests relleus s'han sistematitzat per la concentració parcel·laria, sent difícilment distingibles; d'aquí la proposta de l'ús de la teledetecció, doncs les parcel·les han quedat suavitzades.

Les àrees que no estan directament dominades per la Serra Llarga i per les terrasses tenen una topografia complexa i una xarxa de drenatge desorganitzada. Es poden descriure com una sèrie de cubetes delimitades i per relleus diferencials de gres terciari ("paleocanals"), mai gaire ben delimitades ni excessivament individualitzades.

El mapa de sòls és un mapa amb unitats cartogràfiques descrites per fases de sèries de sòls (https://www.iec.cat/mapasols/Mapa/Llegenda/Lleg_03.pdf). Les unitats cartogràfiques estan organitzades en unitats de relleu. Una mostra de les unitats cartogràfiques del mapa de sòls a l'àrea d'estudi es pot veure a la Figura 3.

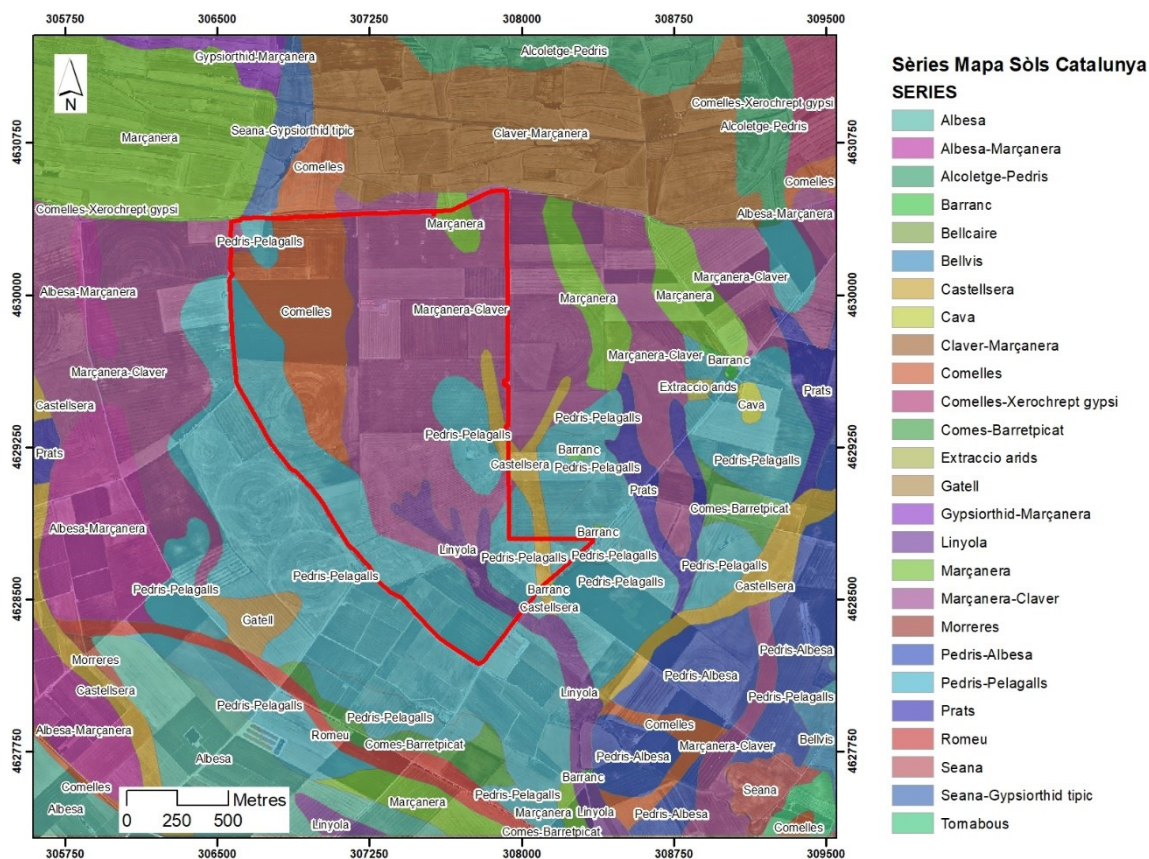


Figura 3. Unitats cartogràfiques del Mapa de Sòls detallat 1:25.000 de Catalunya a la zona pilot d'estudi amb la sobreimpressió del parcel·lari.

Més informació sobre la descripció de les sèries i del mapa de sòl es pot consultar a:
<https://www.iec.cat/mapasols/Mapa/Mapa.asp?Id=28>

3.5. Sistemes d'Informació Geogràfica

Per al tractament i anàlisi de la cartografia digital i de les imatges multispectrals es van utilitzar els programes ArcGIS for Desktop 10.5 i QGIS 2.14. Amb l'ajut de totes aquestes eines digitals i, sobre tot, amb el mapa de sòls (1:25.000) previ, s'han pogut redefinir les unitats del mapa de sòls, ajustant els seus límits o creant-ne de noves allà on ha estat necessari.

S'ha utilitzat el model digital d'elevacions LiDAR de 2x2 de pas de malla creat per l'Institut Geogràfic i Geològic de Catalunya. Aquest model ha estat de gran utilitat, ja que s'han pogut calcular les corbes de nivell amb diferències de cota d'1 m així com la xarxa de drenatge superficial. Aquestes dades han estat de gran ajuda per a "refotointerpretar" el paisatge, ajustant els límits de les formes de relleu a aquesta major escala de treball.

4. Anàlisi de les imatges multiespectrals: índex de vegetació i zonificació

4.1. Procés realitzat amb les imatges multiespectrals

El mètode fisiogràfic en el que està basat el Mapa de Sòls de Catalunya, i en concret el de la zona d'estudi, utilitza l'anàlisi del relleu com a element de base per a la delimitació de les unitats cartogràfiques de sòls. Aquest mètode, però, i més a l'escala del mapa (1:25.000), no pot determinar la variabilitat dels sòls i/o de les seves propietats a escala intraparcels·lària. La determinació o inferència d'aquesta variabilitat es pot fer utilitzant imatges multiespectrals d'alta resolució espacial que mostrin la variabilitat del comportament dels cultius a través del seguiment del seu vigor. Aquesta informació és doncs utilitzada com a "proxy" o intermediari per poder deduir diferències en les propietats dels sòls.

Amb aquest objectiu, amb les imatges disponibles relacionades a la Taula 2 i Taula 3 s'han realitzat diverses anàlisis, que es relacionen a continuació:

1. Anàlisi conjunta de les imatges obtingudes mitjançant vols d'avioneta i satèl·lit d'alta resolució WorldView-2. Amb una resolució de 2 metres i amb les dates especificades a la Taula 2.
2. Anàlisi de les imatges obtingudes mitjançant el satèl·lit Sentinel-2A, amb una resolució de 10 metres i freqüència temporal de 10 dies. Es van realitzar diferents anàlisis en funció de la escala temporal a avaluar i de la presència o no de cultiu en la finca, es a dir:
 - a. Mètode 1 - Sentinel: Anàlisi de totes les imatges obtingudes relacionades a la Taula 3.
 - b. Mètode 2 - Sentinel: Anàlisi de les imatges que coincideixen amb les dates dels vols d'avioneta i de satèl·lit d'alta resolució WorldView-2 (amb un marge temporal d'una setmana).
 - c. Mètode 3 - Sentinel: Anàlisi de totes les imatges relacionades a la Taula 3 però solament tenint en compte les dates on, a cada parcel·la, a les imatges s'hi detecta la presència de cultiu (NDVI mig en parcel·la > 0,4). Aquesta anàlisi es va fer parcel·la per parcel·la. *[El fonament d'aquest mètode desenvolupat s'explica de forma més detallada en un annex d'aquesta memòria].*

El protocol de tractament de les imatges que es va realitzar en totes i cadascuna de les anàlisis abans esmentades és únic i es resumeix en les següents fases:

1. Càlcul dels índex de vegetació **NDVI** (Normalized Difference Vegetation Index) i **GNDVI** (Green Normalized Vegetation Index) per a cada imatge obtinguda. El NDVI és àmpliament conegut i usat per tal de conèixer i fer seguiment del vigor de la vegetació. Es calcula en funció de la banda de l'infraroig proper (IRp) i la banda del vermell. El GNDVI és una variant del primer que utilitza la banda del verd enlloc de la del vermell. És un índex de verdor o d'activitat fotosintètica i

s'ha utilitzat per determinar l'absorció d'aigua i nitrogen per part dels cultius. Les equacions aplicades es mostren a continuació:

$$NDVI = \frac{IRp - Vermell}{IRp + Vermell}$$

$$GNDVI = \frac{IRp - Verd}{IRp + Verd}$$

2. Posteriorment, es va calcular el sumatori dels valors NDVI i GNDVI en cada píxel amb totes les imatges analitzades, amb l'objectiu d'obtenir el **potencial productiu relatiu** de cada parcel·la.
3. A continuació es van retallar cadascun d'aquest rasters de NDVI i GNDVI acumulats per cadascuna de les parcel·les objecte d'aquest estudi. Cal dir que el contorn de parcel·la considerat no és el existent sinó el resultant de fer un "buffer" intern de 15 m dins de la parcel·la, per tal d'eliminar la influència de l'efecte vora.
4. Amb els corresponents rasters per parcel·la obtinguts s'ha fet un reescalat per tal d'obtenir de nou uns valors de NDVI i GNDVI per parcel·la compresos entre 0 i 1. De fet aquí ja no s'estaria parlant de NDVI sinó d'un nou índex que reflecteix la menor o major vigrositat intraparccl·laria.
5. Finalment per a cada parcel·la es va fer una classificació no supervisada per tal de delimitar fins a 4 classes diferents dins la parcel·la, que defineixen diferents zones de menor a major NDVI o GNDVI.

A la Figura 4, Figura 5, Figura 6 i Figura 7 es mostren els diferents procediments seguits per a les diferents anàlisis realitzates amb les imatges multiespectrals.

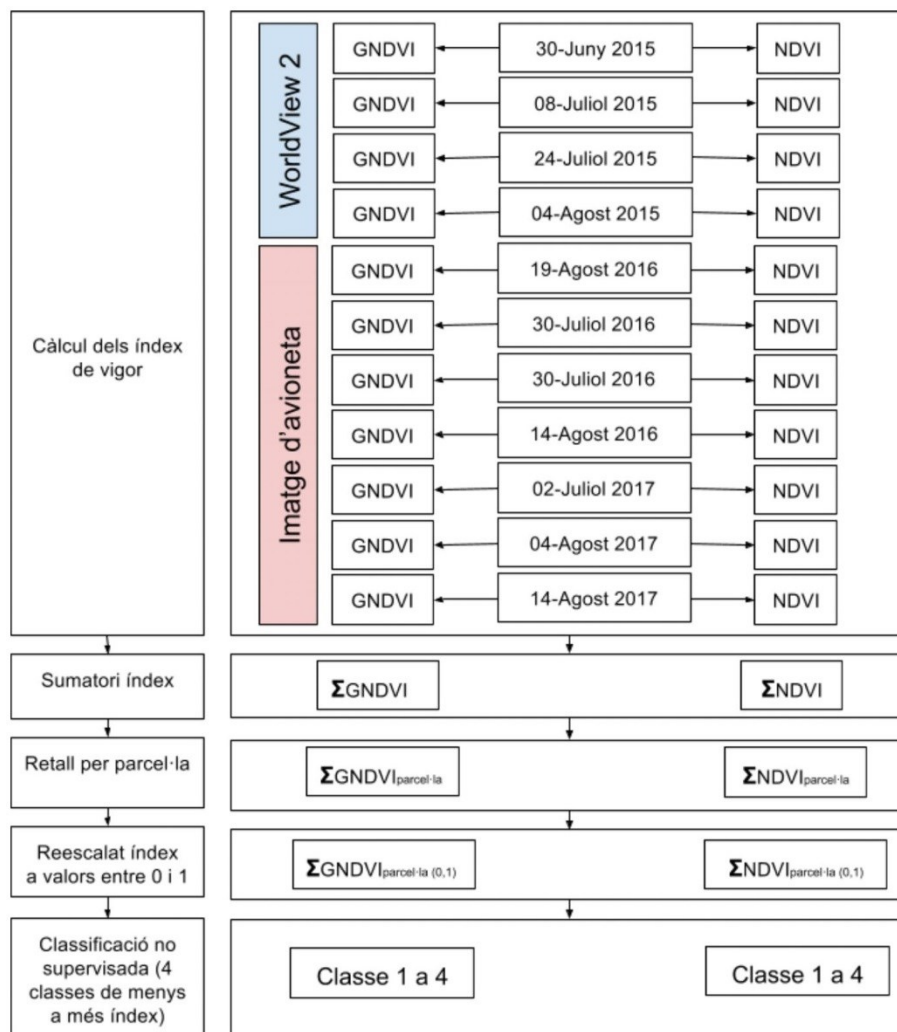


Figura 4. Procediment seguit en l'anàlisi de les imatges obtingudes mitjançant vols d'avioneta i satèl·lit d'alta resolució WorldView-2 relacionades a la Taula 2.

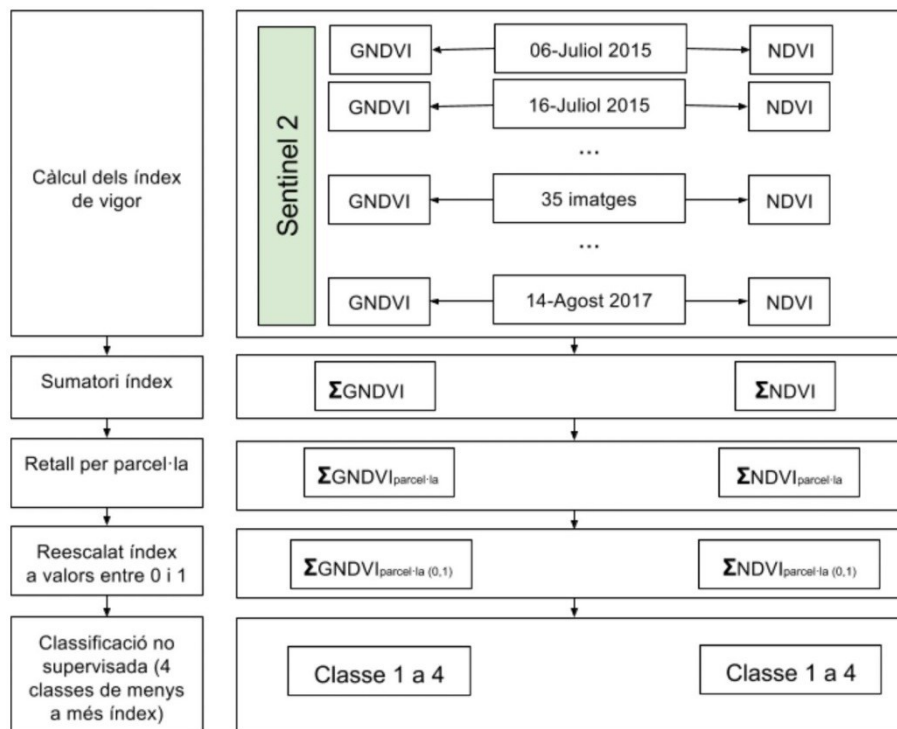


Figura 5. Procediment seguit segons el Mètode 1 Sentinel: l'anàlisi de les imatges obtingudes mitjançant el satèl·lit Sentinel-2A on es van analitzar totes les imatges relacionades a la Taula 3.

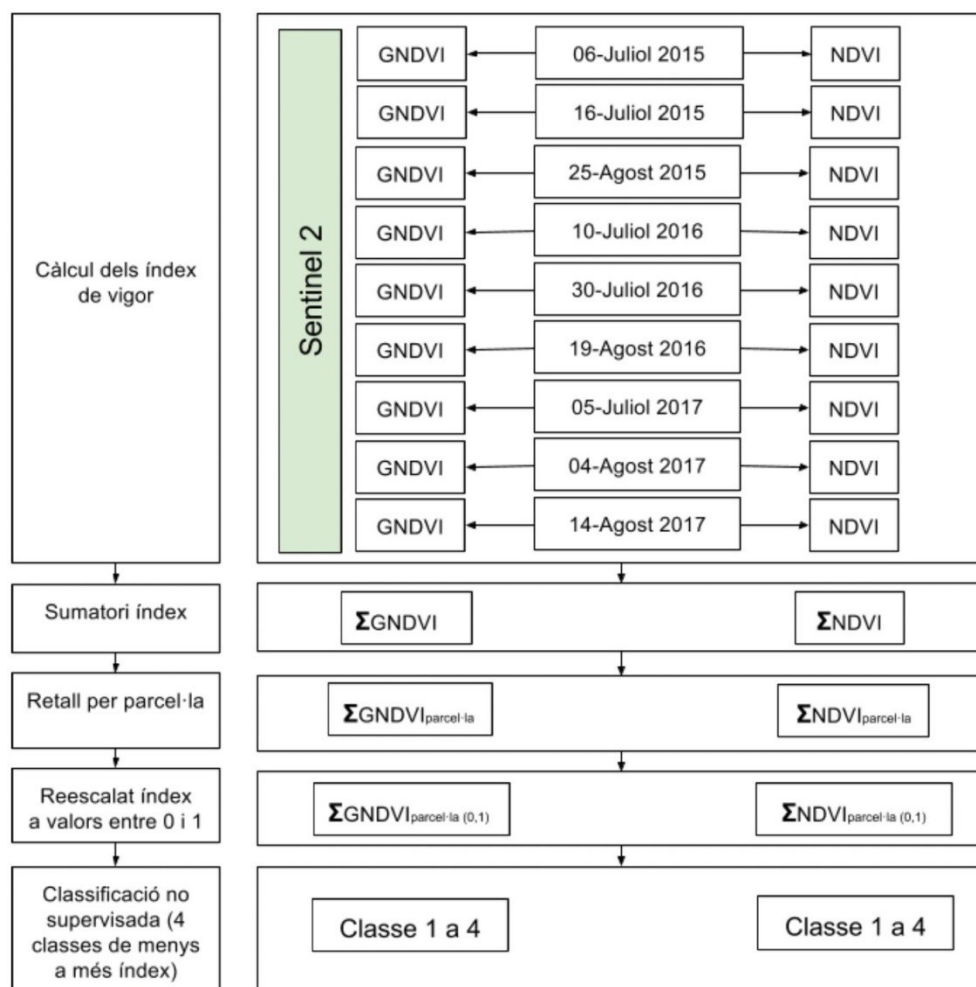


Figura 6. Procediment seguit segons el Mètode 2 Sentinel: anàlisi de les imatges de Sentinel-2A que coincideixen en les dates dels vols d'avioneta i de satèl·lit WorldView-2 (amb un marge diferència temporal d'una setmana).

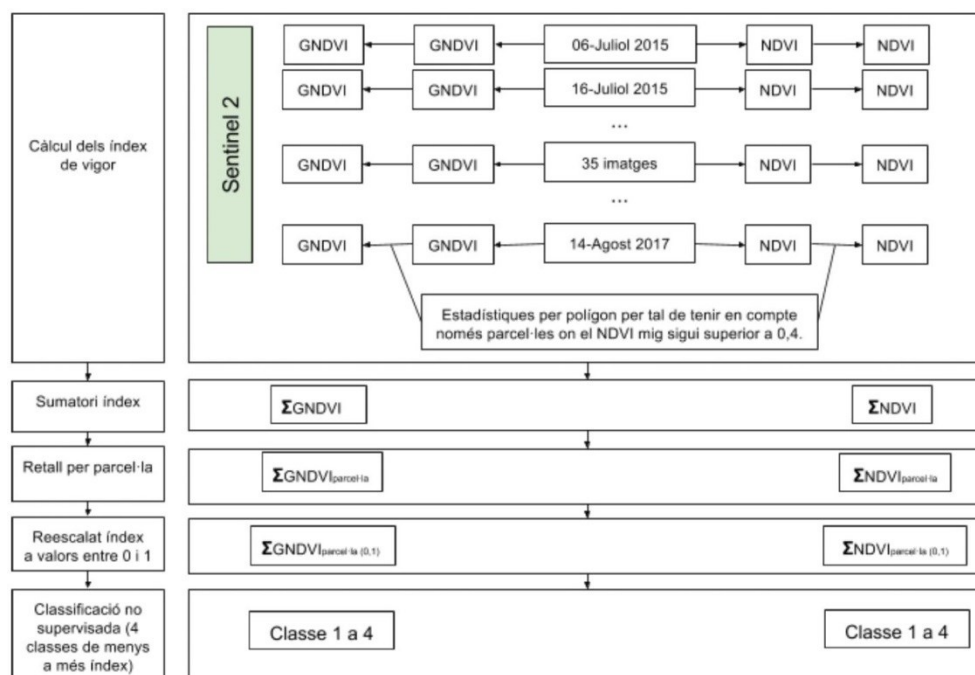


Figura 7. Procediment seguit segons el Mètode 3 Sentinel: anàlisi de les imatges Sentinel-2A on es només es van tenir en compte les dates on en les imatges s'hi detecta la presència de cultiu (NDVI mig >0,4). a.

4.2. Índex de vegetació amb les imatges d'avioneta i WorlView-2

A la Figura 8 i Figura 9 es mostra la variabilitat intraparcelsària de l'índex de vegetació NDVI i GNDVI respectivament. Aquests índex són els obtinguts a partir de les imatges d'alta resolució (avioneta i WorldView-2) segons l'esquema de processament descrit a la Figura 4. També s'han superposat els límits de les unitats cartogràfiques del mapa de sòls del DARP (mapa abans de la present proposta de revisió cartogràfica).



Figura 8. Classes de NDVI resultat del procediment seguit en l'anàlisi conjunta de les imatges obtingudes mitjançant vols d'avioneta i satèl·lit d'alta resolució WorldView2 (Figura 4) a les dates especificades a la Taula 2.



Figura 9. Classes de GNDVI resultat del procediment seguit en l'anàlisi conjunta de les imatges obtingudes mitjançant vols d'avioneta i satèl·lit d'alta resolució WorldView2 (Figura 4) a les dates especificades a la Taula 2.

Tal com es desprèn de la interpretació visual dels índex de vegetació, no existeixen diferències significatives quan a les zones intraparcels·làries delimitades amb un o amb l'altre índex. Malgrat això, i degut a que principalment a la zona d'estudi es conrea blat de moro i alfals, seria preferible utilitzar el GNDVI ja que es relaciona millor amb l'activitat fotosintètica d'aquests tipus de cultiu així com amb les extraccions de nitrogen (particularment al blat de moro).

La comparació dels índex amb les unitats cartogràfiques de sòls no mostren, a priori, una relació directa. Això pot ser degut a la gran diferència en el nivell de detall entre els índex de vegetació i la cartografia de sòls o bé, també, als moviments de terra realitzats durant la concentració parcel·lària i per adaptar les parcel·les al reg. Malgrat això es podrà fer una proposta de subdivisió de les unitats cartogràfiques de sòls en funció de la variabilitat dels índex.

4.3. Índex extrets de les imatges de Sentinel-2A

4.3.1. Mètode 1 Sentinel

A la Figura 10 i Figura 11 es mostra la variabilitat intraparcels·lària de l'índex de vegetació NDVI i GNDVI respectivament. Aquests índex són els obtinguts segons el Mètode 1 Sentinel, a partir de les imatges de Sentinel-2A segons l'esquema de processament descrit a la Figura 5, es a dir, **a partir de totes les imatges sense núvols de les campanyes 2015 a 2017**. També s'han superposat els límits de les unitats cartogràfiques del mapa de sòls.



Figura 10. Classes de NDVI resultat del procediment seguit en l'anàlisi de les imatges obtingudes mitjançant el satèl·lit Sentinel-2A (Mètode 1 Sentinel: Figura 5, anàlisi de totes les imatges obtingudes per als anys 2015 a 2017, totes les imatges llistades a la Taula 3).



Figura 11. Classes de GNDVI resultat del procediment seguit en l'anàlisi de les imatges obtingudes mitjançant el satèl·lit Sentinel-2A (Mètode 1 Sentinel: Figura 5, anàlisi de totes les imatges obtingudes per als anys 2015 a 2017, totes les imatges llistades a la Taula 3).

A l'igual que en el cas de les imatges de més alta resolució espacial, la comparació de la variabilitat del NDVI i GNDVI no mostra diferències significatives a nivell visual. El comportament dels cultius vers aquests dos índex és molt similar. Com és evident, les imatges mostren una major generalització de les zones de vigor, ja que es passa d'una resolució de 2 m a una de 10 m per píxel, la qual cosa suposa un nivell de detall 25 vegades inferior a les imatges del Sentinel-2A respecte a les del WoldView-2, per exemple.

Malgrat això, els índex derivats de les imatges de Sentinel-2A mostren un nivell de variabilitat intraparcèl·laria adient per a una primera proposta de subdivisió de les unitats cartogràfiques de sòls, ja que agrupen la petita variabilitat observada a una molt més alta resolució. Per una altra banda, la variabilitat mostrada a **les imatges de Sentinel-2A podria ser suficient per aplicacions d'agricultura de precisió** en el tipus de cultius que es donen a la zona d'estudi.

4.3.2. Mètode 2 Sentinel

A la Figura 12 i Figura 13 es mostra la variabilitat intraparcèl·laria de l'índex de vegetació NDVI i GNDVI respectivament. Aquests índex són els obtinguts segons els Mètode 2 Sentinel, a partir de les imatges de Sentinel-2A segons l'esquema de processament descrit a la Figura 6, es a dir, **només les imatges que coincideixen amb les dates dels vols d'avioneta i de satèl·lit d'alta resolució WorldView-2**, amb un marge de diferència temporal d'una setmana. També s'han superposat els límits de les unitats cartogràfiques del mapa de sòls.



Figura 12. Classes de NDVI resultat del procediment seguit en l'anàlisi de les imatges obtingudes mitjançant el satèl·lit Sentinel-2 (Mètode 2 Sentinel: Figura 6, anàlisi de només les imatges que coincideixen amb les dates dels vols d'avioneta i de satèl·lit d'alta resolució WorldView-2, amb un marge de diferència temporal d'una setmana).

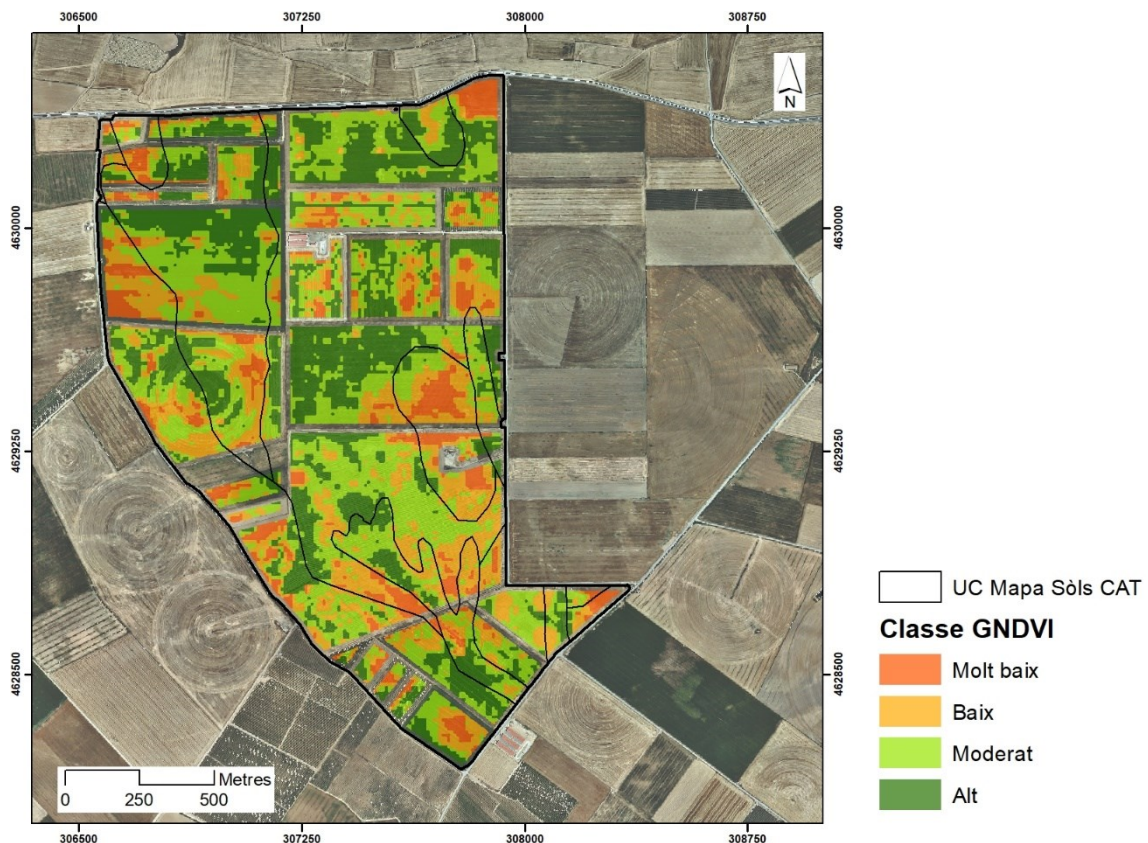


Figura 13. Classes de GNDVI resultat del procediment seguit en l'anàlisi de les imatges obtingudes mitjançant el satèl·lit Sentinel-2 (Mètode 2 Sentinel: Figura 6, anàlisi de només les imatges que coincideixen amb les dates

dels vols d'avioneta i de satèl·lit d'alta resolució WorldView-2, amb un marge de diferència temporal d'una setmana).

En aquest cas (Figura 12 i Figura 13), i en comparació amb els índex de vegetació calculats amb totes les imatges disponibles de Sentinel-2A durant les campanyes 2015 a 2017, es mostren més diferències a les zones de major vigor, que s'alternen entre alt vigor i vigor moderat, però no tant a les zones de menor vigor, que es mantenen. Això és important a l'hora de poder delimitar millor les zones amb problemes de sòls, segurament per salinitat o baixa profunditat. El patró de distribució de la variabilitat del vigor respecte a la cartografia de sòls existents, es manté, sense observar-se una alta correspondència.

4.3.3. Mètode 3 Sentinel

A la Figura 14 i Figura 15 es mostra la variabilitat intraparcels·l·lària de l'índex de vegetació NDVI i GNDVI respectivament. Aquests índex són els obtinguts a partir de les imatges de Sentinel-2A segons el Mètode 3 Sentinel (Figura 7), es a dir, **imatges dels anys 2015-2017 on el valor mig dels índex de les parcel·les és >0,4**. També s'han superposat els límits de les unitats cartogràfiques del mapa de sòls.



Figura 14. Classes de NDVI resultat del procediment seguit en l'anàlisi de les imatges obtingudes mitjançant el satèl·lit Sentinel-2 (Mètode 3 Sentinel: Figura 7, anàlisi de les imatges dels 2015-2017 on el valor mig del NDVI a cada parcel·la és >0,4).



Figura 15. Classes de GNDVI resultat del procediment seguit en l'anàlisi de les imatges obtingudes mitjançant el satèl·lit Sentinel-2 (Mètode 3 Sentinel: Figura 7, anàlisi de les imatges dels anys 2015-2017 on el valor mig del GNDVI a cada parcel·la es $>0,4$).

En aquest cas, solament les imatges del període analitzat en que es hi ha de vegetació (NDVI mig de la parcel·la $> 0,4$) són les que s'han utilitzat. El patró de la variabilitat espacial dels índex pot semblar similar als acumulats de considerar les imatges de tot el període analitzat o bé solament les coincidents en data amb les analitzades d'alta resolució espacial. Malgrat això, aquest mètode permet visualitzar millor la continuïtat d'algunes unitats del mapa de sòl existent, com a fons de vall, que els altres mètodes no identifiquen tant bé (a excepció del Mètode 1 Sentinel).

Aquest mètode es veu més avantatjós que els altres mètodes considerats per diferents raons:

- Permet treballar sense tenir un historial de cultius, ja que al realitzar un filtrat de la imatge parcel·la a parcel·la de les imatges amb $NDVI > 0,4$ permet rebutjar aquelles en les que el cultiu no es present o encara està poc desenvolupat.
- Al treballar amb el sumatori dels índex de vegetació de diverses dates s'evita la tasca de zonificar la parcel·la per diferències amb el NDVI puntual que es poden compensar durant l'evolució del cultiu.
- En aquelles parcel·les amb rotacions amb cultius d'hivern i estiu permet generalitzar la zonificació per a un rang major de cultius.
- El fet de reclassificar els resultats per parcel·les evita influenciar la zonificació amb les practiques culturals aplicades a cada explotació: dates de sembra, dosis d'adobatge, problemes fitosanitaris....

5. Cartografia de la conductivitat elèctrica aparent del sòl (CEa)

Com a informació complementària per la reelaboració de les unitats cartogràfiques del mapa de sòls a una escala més detallada, es va cartografiar en sis parcel·les de l'àrea d'estudi. A la Figura 16 es mostren aquestes parcel·les. La cartografia es va fer en dos dies diferents, el 09/11/2017 i el 23/03/2018. Les característiques del mostreig es detallen a la Taula 4.

Taula 4. Característiques del mostreig de conductivitat elèctrica aparent amb el sensor Veris 3100.

Parcel·la*	Superfície parcel·la (ha)	Data cartografia	Punts totals Veris	Densitat punts Veris (punts/ha)
Parcel·la 1	26,4	09/11/2017	5846	222
Parcel·la 3	5,7	23/03/2018	1443	253
Parcel·la 4	25,5	23/03/2018	5530	217
Parcel·la 5	7,8	23/03/2018	1642	210
Parcel·la 6	5,6	23/03/2018	1511	270
Parcel·la 7	2,7	23/03/2018	677	250

* Es va cartografiar una setena parcel·la (Parcel·la 2) que no s'ha inclòs per estar fora de l'àrea d'estudi.

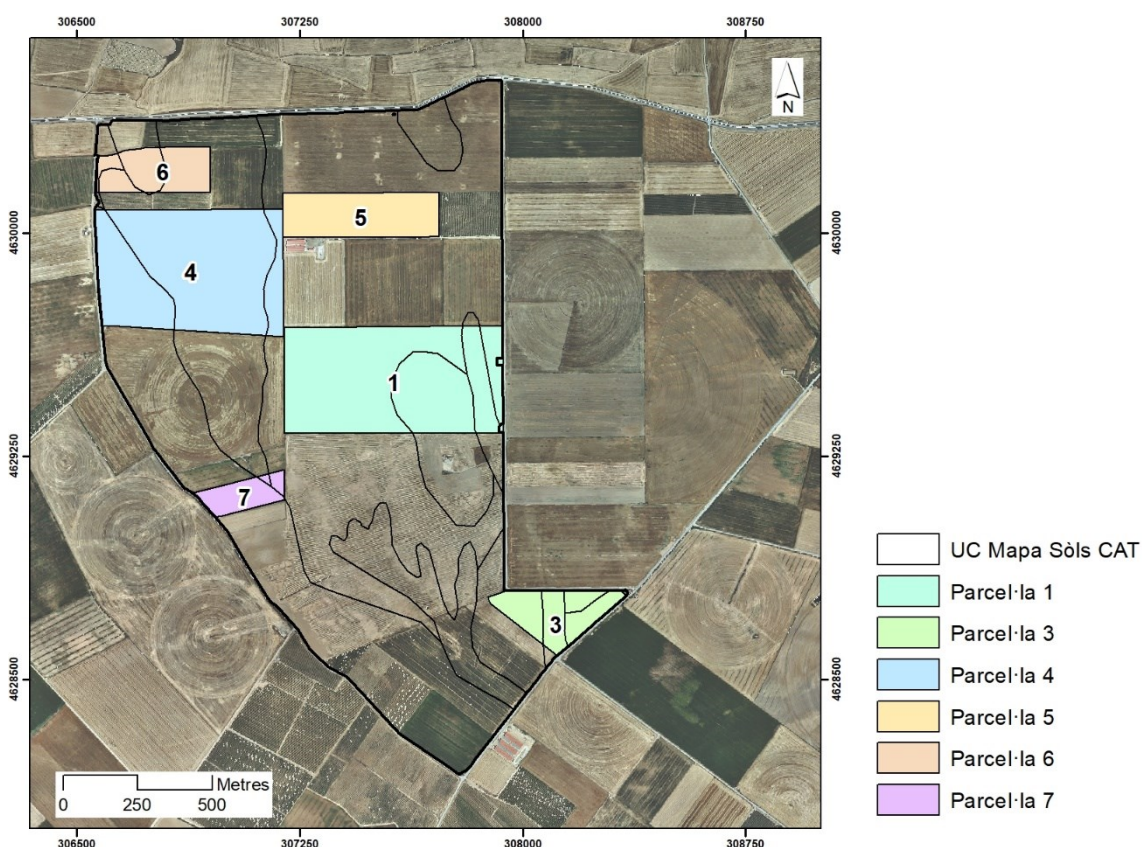


Figura 16. Ubicació de les 2 parcel·les on es va cartografiar la conductivitat elèctrica aparent del sòl amb el sensor Veris 3100.

A partir dels valors puntuals adquirits amb el sensor Veris 3100 es va fer una interpolació per a obtenir mapes continus de la variabilitat de la CEa. Abans de fer aquestes interpolacions es van eliminar els valors negatius (valors anòmals), que indiquen un mal

contacte dels discos amb el sòl. Després es va aplicar una interpolació geoestadística, aplicant una superfície de tendència de segon grau i utilitzant semivariogrames exponencials (Figura 17). Finalment, el resultat de la interpolació van ser les capes de CEa shallow (0-30 cm) i deep (0-90 cm) amb una resolució espacial de 2 m per a cada parcel·la. Els valors de la CEa es mesuren en mS/m (mili Siemens per metre).

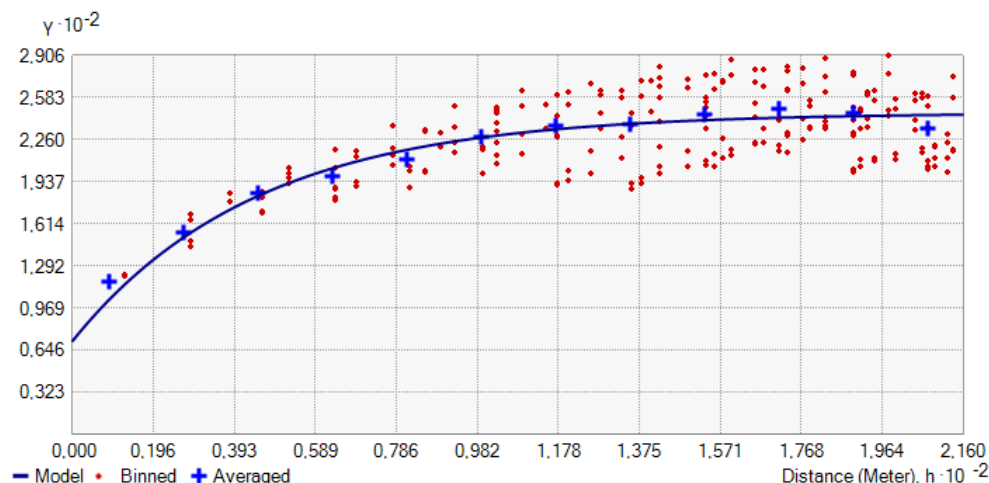


Figura 17. Exemple de semivariograma exponencial utilitzat en la interpolació geoestadística de la CEa Shallow (0-30 cm) de la parcel·la 1.

Els resultats es mostren a la Figura 20 i Figura 21. Malgrat la cartografia es va fer individualment per parcel·la, es van crear dos mosaics per agrupar totes les parcel·les en una mateixa capa de CEa 0-30 cm (shallow) i en una altra capa de CEa 0-90 cm (deep), que són les que es mostren a les figures esmentades. Aquest agrupament en forma de mosaic fa que la paleta de colors es reparteixi entre els valors màxim i mínim del conjunt del mosaic. Així l'escala és relativa al conjunt, el que permet visualitzar les zones amb problemes potencials majors de salinitat.

A la Taula 5 es mostren les estadístiques bàsiques de la CEa mesurada al conjunt de les parcel·les. El valors màxim superen els 250 mS/m, arribant en el cas de la CEa 0-30 cm fins a 381,6 mS/m. D'acord al criteri interpretatiu suggerit per Veris Technologies Inc., reflectit a la Figura 18, valors per sobre dels 80-100 mS/m poden ser degudes als a la presència de sals dissoltes a l'aigua dels porus del sòl. Així, les mesures de la CEa a partir en sòls salins solen ser molt més altes que les de les argiles.

Taula 5. Estadístiques bàsiques de la conductivitat elèctrica aparent (CEa) mesurada al conjunt de parcel·les de l'àrea d'estudi.

Estadística	CEa 0-30 cm (shallow) mS/m	CEa 0-30 cm (deep) mS/m
Mínim	0,5	1,0
Màxim	381,6	258,6
Mitjana	32,4	39,4
Desviació estàndard	30,9	28,4

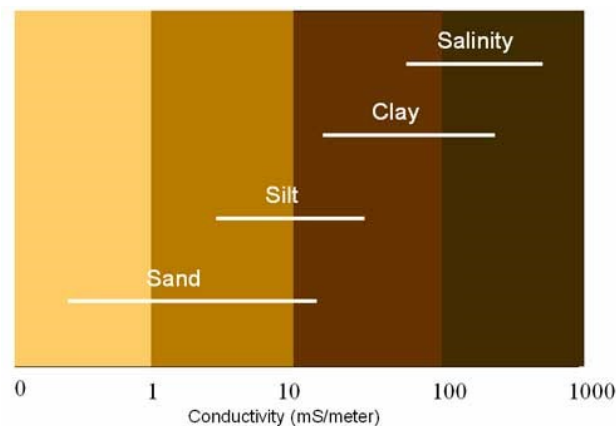


Figura 18. Criteri interpretatiu dels valors de conductivitat elèctrica aparent (CEa) segons la textura i la salinitat del sòl. Font: Veris Technologies Inc. (<https://www.veristech.com/the-sensors/v3100>).

En aquest sentit, la parcel·la més problemàtica seria la Parcel·la 3, localitzada en la part baixa de l'àrea d'estudi. En aquesta parcel·la els valors de CEa tant elevats podrien estar també relacionats amb sodicitat, tractant-se probablement de sòls salins i sòdics. Puntualment, en altres zones de l'àrea d'estudi poden donar-se problemes de salinitat, però de forma més local, com a la Parcel·la 1 i a la Parcel·la 4. En aquestes parcel·les poden donar-se dues situacions. Per una banda, la presència més moderada de sals no estaria tant a l'horitzó superficial sinó en capes més profundes, probablement pel rentat de les sals degut als reg. Ara bé, el més probable és que els valors més alts de CEa es poguessin correspondre a un major contingut d'humitat en profunditat. Probablement el nivell freàtic està més alt en algun moment de l'any sense ser limitats per als conreus, i per això la limitació no sortiria reflectida al NDVI, que és el que es veu als mapes.

Els valors de les mitjanes de la CEa 32,4 i 39,4 mS/m confirmen la interpretació de que els problemes de salinitat no són generalitzats. Així, aquests valors es corresponen amb sòls de textures mitjanes, franques, franco llimoses o inclòs francoarenoses.

La Figura 19 confirma els resultats abans esmentats i també diu sobre la continuïtat de les mesures de CEa de l'horitzó més superficial a l'horitzó més profund. En aquest cas els dos histogrames tenen les majors freqüències amb valors no molt distants de CEa, sent major en terme mig en la capa de profunditat. Aquest escenari de patrons no discordants entre 0-30 cm i 0-90 cm, on a més a més, la CEa és lleugerament superior en la matriu més profunda, indica que la CEa es relaciona amb les diferències de textura del sòl en la direcció X-Y, mostrant continuïtat textural en profunditat. En aquest cas, però, els valors més elevats vindrien donats pel major contingut de sals a les parts més fons del relleu.

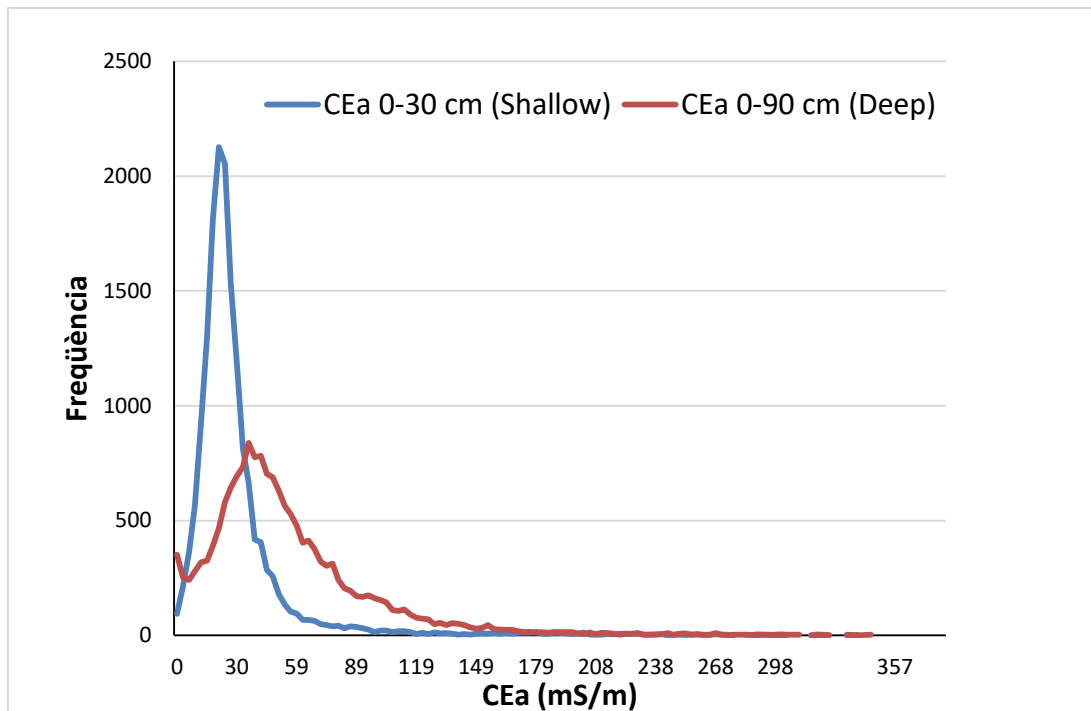


Figura 19. Histogrames de freqüències de la CEa 0-30 cm (shallow) i 0-90 cm (deep) del conjunt de parcel·les cartografiades amb el sensor Veris 3100.

Seguidament es mostren els mapes de les dues capes de conductivitat elèctrica aparent (Figura 20 i Figura 21). Els mapes visualitzen els valors menors, en general, en la capa de 0-30 cm respecte a la de 0-90 cm. Les dues capes mostren una coherència o continuïtat dels valors, ja comentada anteriorment, encara que es poden destacar **el cas particular de la Parcel·la 4**, que sembla mostrar una discordança. En aquesta parcel·la hi ha una major CEa en profunditat en comparació amb la de la capa superficial. Aquesta és una zona de sòls profunds, de textures moderadament fines amb presència, fins i tot, d'un nivell freàtic en profunditat que no afectaria a l'arrelament de les plantes. Així, els valors més elevats de CEa podrien estar relacionats amb la presència d'aquesta capa freàtica, les textures més fines i fins i tot un major contingut de sals, que no estaria en superfície pel reg continuat del cultiu present als darrers anys (alfals). També, aquesta zona coincideix amb un fons topogràfic que fa que pugui tenir el drenatge limitat.

Dintre de la Parcel·la 4 també apareixen dues petites zones que coincideixen amb valors elevats de la CEa, inclòs la de la capa de 0-30 (Figura 20), que es va comprovar en camp que corresponia a zones d'entollament superficial.

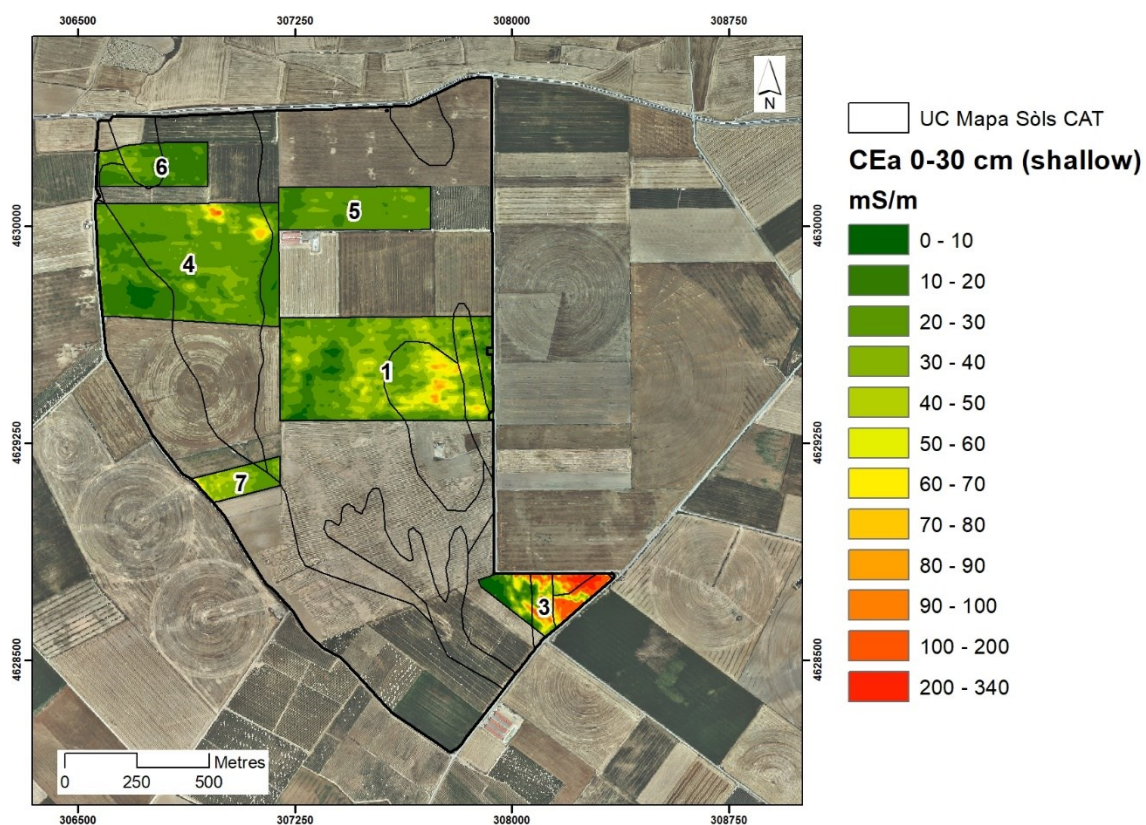


Figura 20. Conductivitat elèctrica aparent (CEa) de 0-30 cm (shallow) mesurada amb el sensor Veris 3100 a les parcel·les de l'àrea d'estudi.

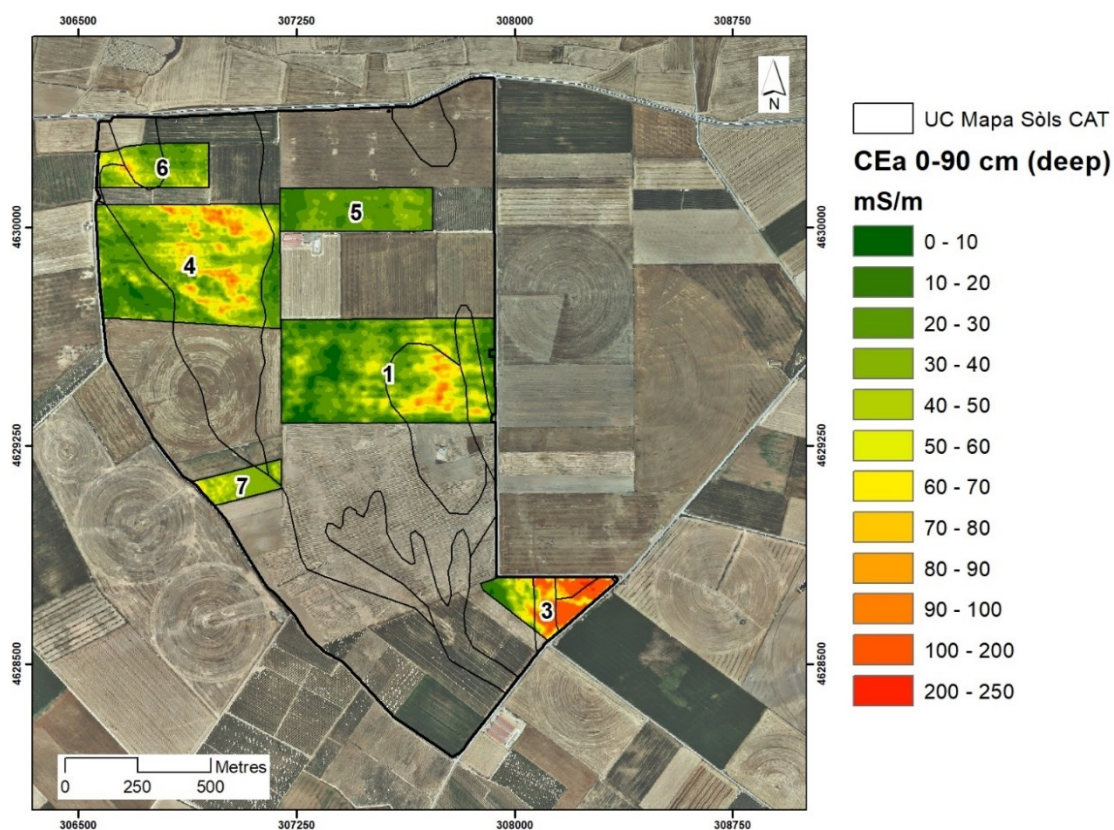


Figura 21. Conductivitat elèctrica aparent de 0-90 cm (deep) mesurada amb el sensor Veris 3100 a les parcel·les de l'àrea d'estudi.

A la Figura 22, en que es comparen els resultats de les classes del NDVI amb la CEa 0-90 cm, es pot apreciar clarament la discordança esmentada a la Parcel·la 4, amb textures més fines en profunditat i, probablement, major contingut de sals/humitat per proximitat del freàtic, però que no impedeix el correcte desenvolupament dels cultius (reflectit en el NDVI).

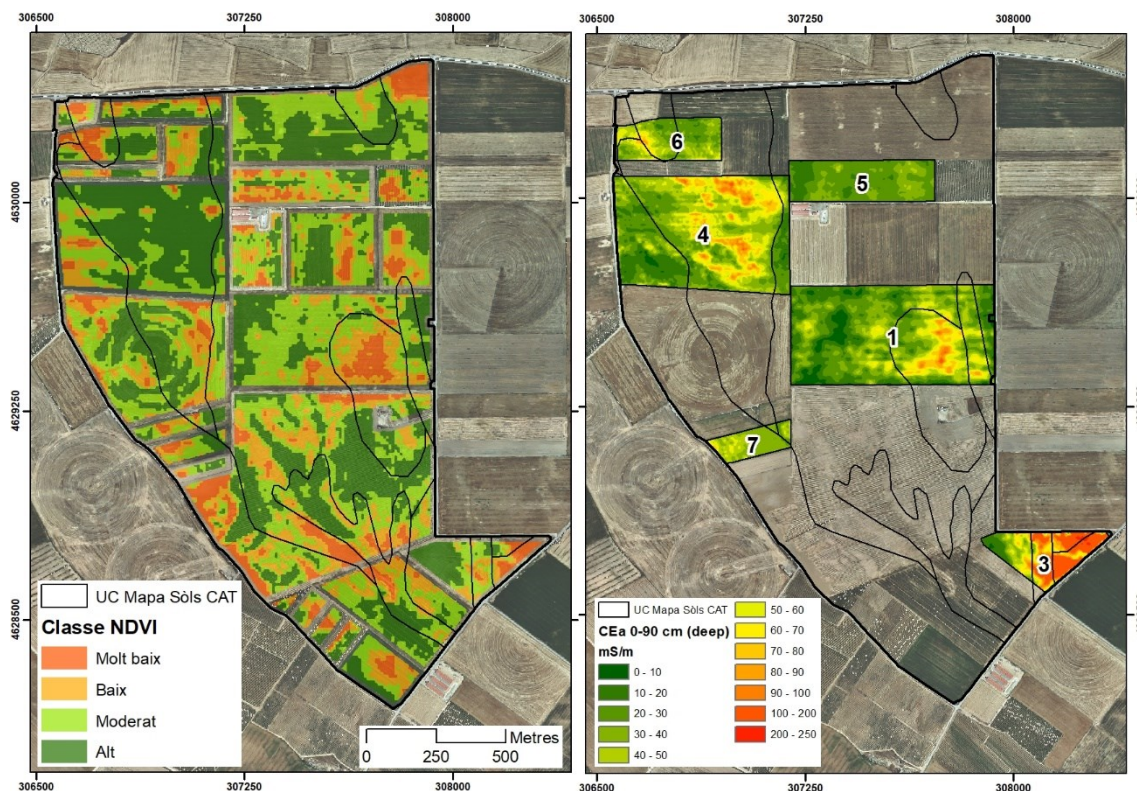


Figura 22. Comparació entre les classes de NDVI segons el Mètode 3 Sentinel i la conductivitat elèctrica aparent de 0-90 cm (deep) mesurada amb el sensor Veris 3100.

6. Mostreig i descripció de sòls en camp

Amb tota aquesta informació prèvia es van realitzar 56 sondejos de sòls amb barrina manual en punts de mostreig, estratificats segons les classes de NDVI i zones de CEa. A la Figura 23 es mostra la localització d'aquests punts amb el nom de la sèrie de sòls del Mapa de Sòls de Catalunya a la que pertanyen. La descripció dels sondejos es recull a la Taula 6. Les principals sèries de sòls presents a l'àrea d'estudi han estat Claver (34 % dels sondejos), Comelles (18%) i Pedrís (18%). En 4 dels sondejos realitzats es va detectar problemes de salinitat (24, 25, 31 i 46), encara que aquestes dades poden ser per defecte, ja que no s'han fet anàlisis de sòls per confirmar altres punts amb possibles problemes de salinitat detectats amb el sensor Veris 3100.

Algun d'aquests possibles casos esmentats serien els situats a la Parcel·la 1, a la zona d'alta CEa (sondejos 17 i 18). Aquests sòls corresponen a les sèries Pelagalls i Comelles, sense problemes aparents de salinitat. Els sòls de la sèrie Pelagalls són sòls poc profunds, amb textura moderadament grossa i sense elements grossos, normalment desenvolupats sobre gresos i amb una profunditat arrelable menor de 50 cm. Segons aquestes característiques, aquest sòls no haurien de donar mesures de CEa tant elevades com les

que es van mesurar (75-90 mS/m). L'explicació d'aquests valors elevats de la CEa podria ser el drenatge limitat pels gresos subjacents i l'aport de flux d'aigua i sals dels sòls circumdants. Això faria que hi hagués un excés d'humitat i salinització incipient. Aigües avall d'aquesta zona, el sòl guanya en gruix i el freàtic baixa de cota respecte la superfície, desapareixent el problema. Per una altra banda, la parcel·la es va sondejar sense cultiu d'hivern i llaurada, i per tant va resultar difícil inferir problemes de salinitat.

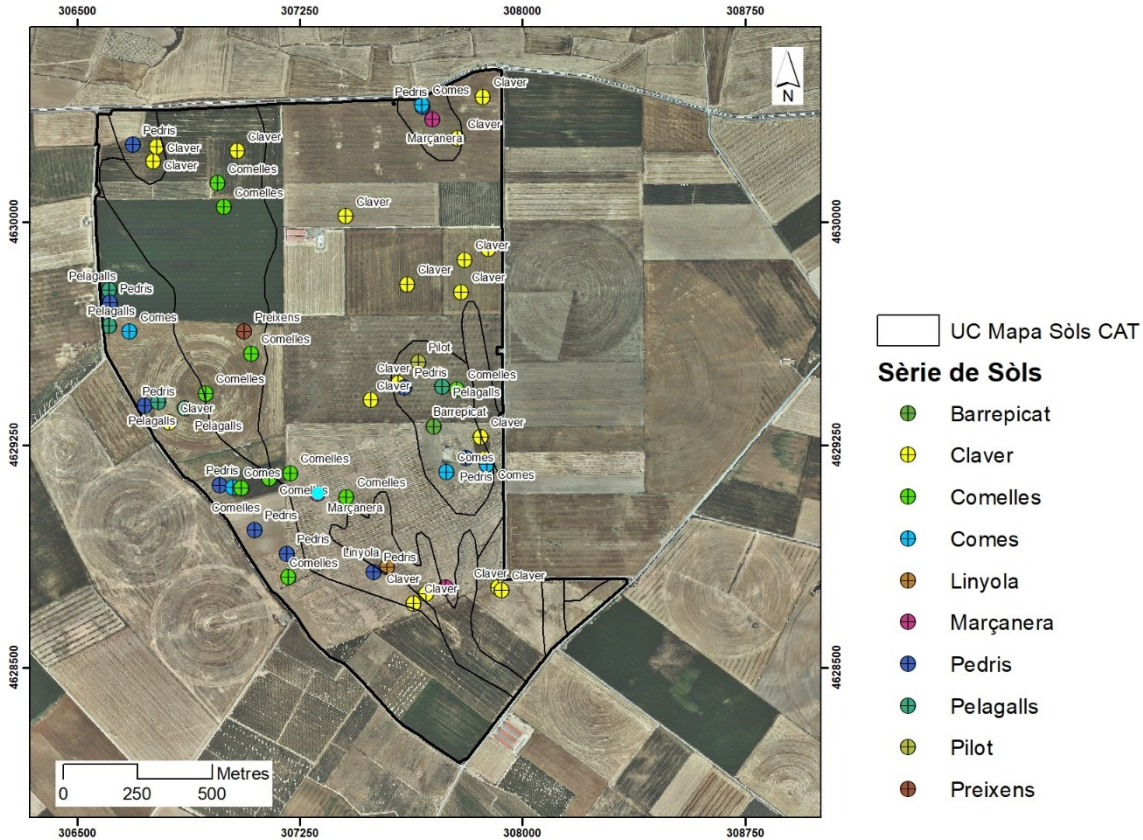


Figura 23. Localització dels sondejos amb barrina manual realitzats a l'àrea d'estudi per a la intensificació de sòls. A la llegenda es mostra la sèrie de sòls del Mapa de Sòls de Catalunya a la qual pertany cada perfil. També es mostren les unitats cartogràfiques d'aquest mapa de sòls.

Taula 6. Descripció dels sondejos de sòls realitzats per a la intensificació del mostreig a l'àrea d'estudi.

ID	Sèrie	Prof. cm	Freàtic cm	Material subjacent	Salinitat	Observacions
1	Claver	>120		Limolita/guixos		
2	Claver	>120		Limolita/guixos		Humit en 1 metre
3	Comes	60		Lutites/limolites		Pedrís-Comes. A 50-60 cm guix i lutita
4	Pedrís	50		Lutites/limolites		Guixos a partir de 50 cm. Textura arenofranca
5	Marçanera	120		Lutites/limolites		Abundància guix a partir de 60 cm. textura arenofranca pel guix
6	Pedrís	30		Lutites/limolites		
7	Claver	>120		Limolita/guixos		Carbonats a 60 cm i guix a 100 cm. Pendent 3%
8	Claver	120		Limolita/guixos		Textura franco llimosa amb nòduls i a 120 cm limitació
9	Comelles	>120	60	DTF		Freàtic a 60 cm. Escorrentia superficial pas sota canal.
10	Comelles	>120	95	DTF		Freàtic a 95 cm i pujant.
11	Comes	70		Lutites/limolites		
12	Pedrís	<50		Lutites/limolites		Pedrís-Pelagalls

ID	Sèrie	Prof. cm	Freàtic cm	Material subjacent	Salinitat	Observacions
13	Comes	65		Lutites/limolites		
14	Claver	100		Limolita/guixos		100 cm amb acumulacions. Petit fons. A sota hi han lutites.
15	Claver	100		Limolita/guixos		idem 14
16	Barrepicat	100		Gres		>100 cm, franco arenosa
17	Comelles	>120		DTF		Comes-Comelles
18	Pelagalls	40		Gres		
19	Pedris	50		Lutites/limolites		
20	Claver	>120		Limolita/guixos		Carbonats a 80 cm; 110 cm guixos.
21	Claver	>120	110	Limolita/guixos		Textura fina amb graves mesclades a partir de 110 cm barrinable. Freàtic a 110 cm
22	Pilot	110		Lutites/limolites		Lutites a 110 cm. Franco o F argilo-llimós amb nòduls.
23	Claver	>120	130	Limolita/guixos		Tot el perfil molt humit, quasi saturat.
24	Pedris	40		Lutites/limolites	X	
25	Pedris	50		Lutites/limolites	X	A partir de 40 cm molt compacte. Mala naixença ordi.
26	Comelles	>125		DTF		Textura franco argilo-llimosa. Pseudomicelis marge a la vora.
27	Pedris	50		Lutites/limolites		Pedris-Pelagalls. 50 cm. Molt humit, inclús la lutita.
28	Linyola	>120	110	DTF		Graves a partir de 110 cm. Mullat a partir de 80 cm. Saturat a 110 cm. Freàtic a 115 cm i pujant.
29	Comelles	>120	85	DTF		Freàtic a 85 cm
30	Marçanera	>120		Lutites/limolites		Humit a partir de 60 cm. Graves i guixos/carbonats a partir de 80 cm.
31	Comelles	>120		DTF	X	Molt humit a partir de 70 cm. Mala naixença.
32	Comelles	>120		DTF		Vessant, humit.
32	Comelles	>120		DTF		Humit. Petit fons. Passa un col·lector de drenatge pel fons.
33	Comes	70		Lutites/limolites		Part convexa del vessant
34	Pedris	35		Lutites/limolites		
35	Claver	>120		Limolita/guixos		Acumulacions carbonats 5%. Petit fons lateral.
36	Pelagalls	30		Gres		Replà a meitat vessant
38	Pelagalls	30		Gres		Cadira de muntar
39	Pedris	25		Lutites/limolites		Part alta cadira de muntar
40	Comes	60		Lutites/limolites		Humita, inclús la lutita.
41	Pelagalls	30		Gres		
42	Pedris	45		Lutites/limolites		
43	Pelagalls	30		Gres		Cadira de muntar
44	Claver	>120		Limolita/guixos		Turó. Graves calcàries en superfície
45	Claver	>120		Limolita/guixos		Grava en superfície. Càlcic a 50 cm i gípsic a 75 cm. Perfil sense graves.
46	Claver	>120		Limolita/guixos	X	A 50 cm nòduls, a 70 cm 10% grava revestida. Molt humit (mullat) tot el perfil. Rodals mala naixença.
47	Claver	>120	115	Limolita/guixos		Fons de vall. Textura franco argilo-llimosa. Acumulacions a 80 cm; guix i carbonats. Freàtic a 115 i pujant.
48	Marçanera	120		Lutites/limolites		Guix >20% a partir de 40 cm. Petit turó.
49	Claver	>120		Limolita/guixos		Molt humit. Acumulacions de carbonats. Zona un poc més baixa que el laterals.
50	Claver	>120	70	Limolita/guixos		Molt humit (reg) de 0 a 20 cm, humit de 40 a 60 cm, saturat a partir de 65 cm. Petita depressió local. Claver amb carbonats. Freàtic a 70 cm.
51	Claver	>120	130	Limolita/guixos		Molt poques acumulacions. Humit fins a 90 cm, després mullat fins a 120. Elevació local.
52	Claver	>120		Limolita/guixos		Guix a 80 cm. Graves en superfície i fins a 30 cm (5-10%). Humit tot el perfil.
53	Claver	>120	135	Limolita/guixos		Molt humit/mullat a 100-120 cm
54	Comelles	>120	100	DTF		Compacte i humit a l'inici. A partir de 60 cm augmenta humitat i a 120 cm quasi saturat. Extrem pivot. Freàtic a 105 cm i pujant.

ID	Sèrie	Prof. cm	Freàtic cm	Material subjacent	Salinitat	Observacions
55	Preixens	110		Lutites/límolites		Taques de Fe a 80 cm < 2%. Humit inici. Augmenta a partir de 60 cm. Al final quasi mullat. No freàtic.
56	Comelles	>120		DTF		Humit de dalt a baix. Sense augmentar en excés en profunditat. Sense acumulacions

Pel que fa a la correspondència entre els sòls descrits als sondejors i les classes de NDVI i CEa (Figura 24) com a possibles “proxys” per a elaborar un mapa de sòls més detallat, s’ha observat una millor relació amb les classes de NDVI. Aquest índex mostra el resultat del funcionament integrat del sòl i del seu maneig i la interpretació de la CEa és més complexa. Les classes de NDVI responen més a la profunditat del sòl i a la classe textural del perfil. També, mostra resposta als problemes de salinitat. Donat que aquesta informació està para tota l’àrea d’estudi, és la que s’ha tingut més en compte per a la revisió del mapa de sòls per adaptar-lo a una escala més detallada.

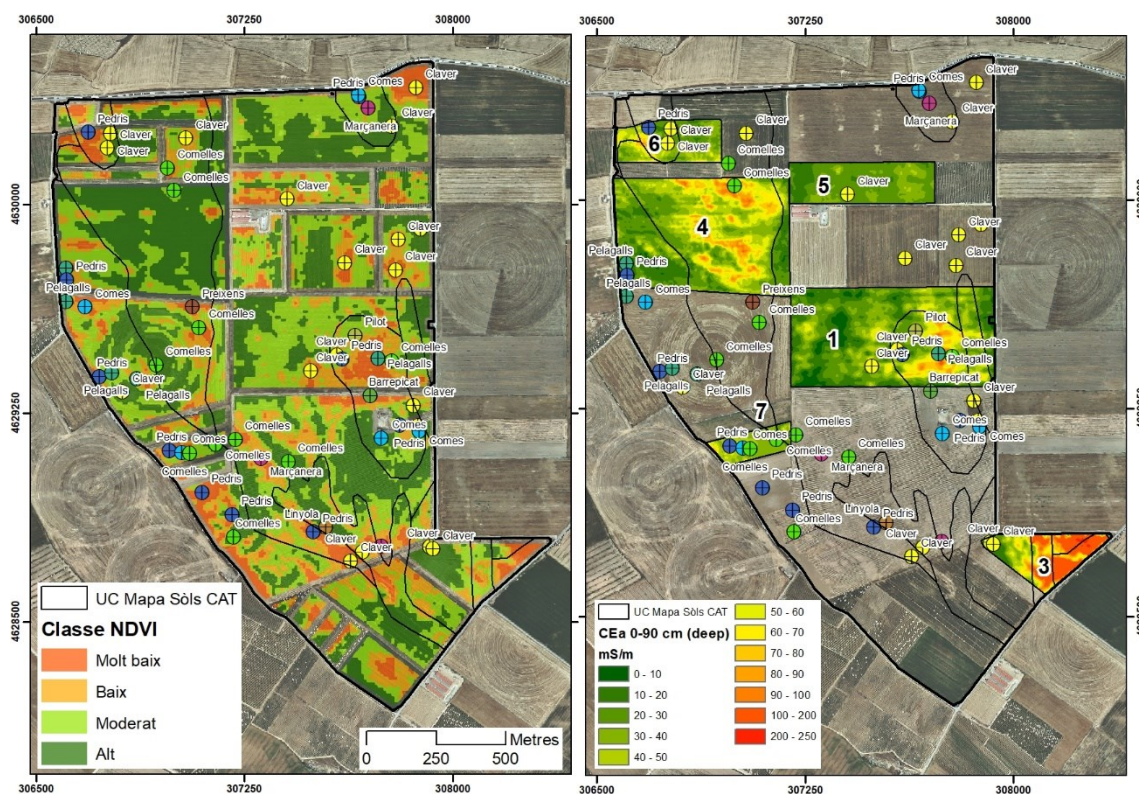


Figura 24. Localització dels sondejors de sòls en relació a les classes de NDVI (esquerra) i la CEa 0-90 cm (dreta). També es mostren les unitats cartogràfiques d’aquest mapa de sòls.

7. Proposta de mapa de sòls per aplicacions en el maneig diferencial de les parcel·les

A partir de totes les dades adquirides i analitzades s’ha elaborat la proposta d’adaptació de les unitats cartogràfiques del Mapa de Sòls de Catalunya per aplicacions en el maneig diferencial de les parcel·les. Aquest mapa es mostra a la Figura 25 i les unitats cartogràfiques es descriuen a la Taula 7.

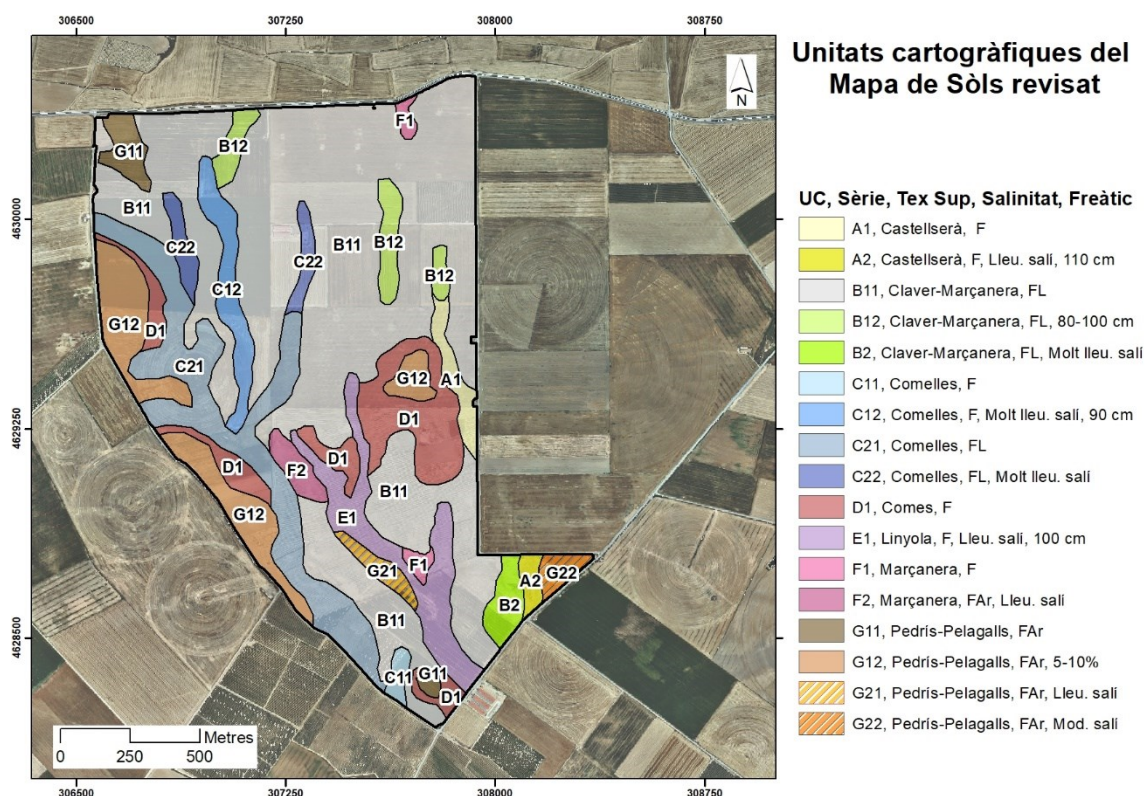


Figura 25. Unitats cartogràfiques del mapa de sòls revisat. A la llegenda no apareix la fase de pendent, que en totes les unitats és de 2-5 % de pendent, excepte a la unitat G12 que és de 5-10 %.

Taula 7. Descripció de les unitats cartogràfiques del mapa de sòls revisat.

Codi	Descripció
A1	Castellserà franca, <2 % de pendent: Sòls profunds, ben drenats i de textura mitjana. Típicament l'horitzó superficial té un espessor de 20 30 cm, i és de textura franca. Els horitzons subsuperficials són de textura mitjana i presenten, en profunditat, acumulacions vermiformes i de cristalls de guix. <u>Inclusions:</u> fases graverenques de la mateixa sèrie, i de la sèrie Gatell. La conductivitat hidràulica i la velocitat d'infiltració són moderades. La capacitat de retenció d'aigua disponible és moderada. <u>Aptitud:</u> Són sòls molt aptes per a l'ús agrícola. Són sòls molt aptes (1) per a reg per aspersió i localitzat.
A2	Castellserà franca, <2 % de pendent, lleugerament salina, freàtic < 100 cm: Sòls profunds, ben drenats i de textura mitjana. Són sòls lleugerament salins, el que els fa poc aptes per cultius sensibles. Presenten un nivell freàtic a uns 100 cm de profunditat, probablement generat a partir de la posada en reg de la zona. Típicament l'horitzó superficial té un espessor de 20 30 cm, i és de textura franco llimosa. Els horitzons subsuperficials són de textura mitjana i presenten, en profunditat, acumulacions vermiformes i de cristalls de guix. <u>Inclusions:</u> fases graverenques de la mateixa sèrie, i de la sèrie Gatell. La conductivitat hidràulica i la velocitat d'infiltració són moderades. La capacitat de retenció d'aigua disponible és moderada. <u>Aptitud:</u> Són sòls moderadament aptes per a l'ús agrícola. Són sòls moderadament aptes (2sd) per a reg per aspersió i localitzat.
B11	Complex Marçanera Claver franco llimosa, 2-5% de pendent: Sòls profunds, ben drenats i de textura mitjana. Típicament l'horitzó superficial té un espessor de 20 30 cm, de textura franco llimosa. Els horitzons subsuperficials són de textura mitjana i presenten acumulacions secundàries freqüents de carbonats en forma de nòduls, i per sota, acumulacions de guix vermiformes i/o cristalls. <u>Inclusions:</u> sòls de les sèries Borró, Castellserà i Esquirol. La velocitat d'infiltració i la conductivitat hidràulica són moderadament lentes. La capacitat de retenció d'aigua és moderada. <u>Aptitud:</u> Són sòls aptes per a l'ús agrícola. La principal limitació pot venir donada per la profunditat a la que trobem l'horitzó amb acumulació de guix i per la seva concentració que pot inhibir l'arrelament de les plantes. Tant mateix poden aparèixer problemes de clorosi als cultius sensibles, degut a la presència d'un horitzó d'acumulació de carbonats. Són sòls molt aptes (1) per a reg localitzat i moderadament aptes (2t) per reg per aspersió.
B12	Complex Marçanera Claver franco llimosa, 2-5% de pendent, freàtic < 100 cm: Sòls profunds, ben drenats i de textura mitjana. Presenten un nivell freàtic a uns 100 cm de profunditat, probablement generat a partir de la posada en reg de la zona. Típicament l'horitzó superficial té un espessor de 20 30 cm, de textura franco llimosa. Els horitzons subsuperficials són de textura mitjana i presenten acumulacions

Codi	Descripció
	secundàries freqüents de carbonats en forma de nòduls, i per sota, acumulacions de guix vermiformes i/o cristalls. <u>Inclusions:</u> sòls de les sèries Borró, Castellserà i Esquirol. La velocitat d'infiltració i la conductivitat hidràulica són moderadament lentes. La capacitat de retenció d'aigua és moderada. <u>Aptitud:</u> Són sòls aptes per a l'ús agrícola. La principal limitació pot venir donada per la profunditat a la que trobem l'horitzó amb acumulació de guix i per la seva concentració que pot inhibir l'arrelament de les plantes. Tant mateix poden aparèixer problemes de clorosi als cultius sensibles, degut a la presència d'un horitzó d'acumulació de carbonats. Són sòls moderadament aptes (2dt) per a reg per aspersió i localitzat (2d).
B2	Complex Marçanera Claver franco llimosa, 2-5% de pendent, molt lleugerament salí: Sòls profunds, ben drenats i de textura mitjana. Són sòls molt lleugerament salins, el que els fa poc aptes per cultius molt sensibles. Típicament l'horitzó superficial té un espessor de 20 30 cm, de textura franco llimosa. Els horitzons subsuperficials són de textura mitjana i presenten acumulacions secundàries freqüents de carbonats en forma de nòduls, i per sota, acumulacions de guix vermiformes i/o cristalls. <u>Inclusions:</u> sòls de les sèries Borró, Castellserà i Esquirol. La velocitat d'infiltració i la conductivitat hidràulica són moderadament lentes. La capacitat de retenció d'aigua és moderada. <u>Aptitud:</u> Són sòls aptes per a l'ús agrícola. La principal limitació pot venir donada per la profunditat a la que trobem l'horitzó amb acumulació de guix i per la seva concentració que pot inhibir l'arrelament de les plantes. Tant mateix poden aparèixer problemes de clorosi als cultius sensibles, degut a la presència d'un horitzó d'acumulació de carbonats. Són sòls molt aptes (1) per a reg localitzat i moderadament aptes (2t) per reg per aspersió.
C11	Comelles franca, < 2% de pendent: Sòls molt profunds, ben drenats i de textura mitjana. Típicament l'horitzó superficial és de textura franca amb un espessor d'uns 30 cm. Els horitzons subsuperficials són de textura mitjana. Poden presentar acumulacions de carbonats, i per sota, acumulacions de guix, però sempre en petita quantitat (< 2%). La velocitat d'infiltració i la conductivitat hidràulica són de moderadament lentes a moderades. La capacitat de retenció d'aigua disponible és alta. <u>Inclusions:</u> sòls de la sèrie Claver. <u>Aptitud:</u> Són sòls molt aptes per a l'ús agrícola. Són sòls molt aptes (1) per al reg.
C12	Comelles franca, 2-5% de pendent, molt lleugerament salí, freàtic < 100 cm: Sòls molt profunds, ben drenats i de textura mitjana. Són sòls molt lleugerament salins, el que els fa poc aptes per cultius molt sensibles. Presenten un nivell freàtic a uns 100 cm de profunditat, probablement generat a partir de la posada en reg de la zona. Típicament l'horitzó superficial és de textura franca amb un espessor d'uns 30 cm. Els horitzons subsuperficials són de textura mitjana. Poden presentar acumulacions de carbonats, i per sota, acumulacions de guix, però sempre en petita quantitat (< 2%). La velocitat d'infiltració i la conductivitat hidràulica són de moderadament lentes a moderades. La capacitat de retenció d'aigua disponible és alta. <u>Inclusions:</u> sòls de la sèrie Claver. <u>Aptitud:</u> La lleugera salinitat d'aquests sòls els fa poc aptes per cultius molt sensibles a aquest factor. Són sòls aptes per a l'ús agrícola. Són sòls moderadament aptes per al reg localitzat (2d) i reg per aspersió (2dt).
C21	Comelles franco-llimosa, < 2-5% de pendent: Sòls molt profunds, ben drenats i de textura mitjana. Típicament l'horitzó superficial és de textura franco-llimosa amb un espessor d'uns 30 cm. Els horitzons subsuperficials són de textura mitjana. Poden presentar acumulacions de carbonats, i per sota, acumulacions de guix, però sempre en petita quantitat (< 2%). La velocitat d'infiltració i la conductivitat hidràulica són de moderadament lentes a moderades. La capacitat de retenció d'aigua disponible és alta. <u>Inclusions:</u> sòls de la sèrie Claver. <u>Aptitud:</u> Són sòls molt aptes per a l'ús agrícola. Són sòls molt aptes (1) per a reg localitzat i moderadament aptes (2t) per reg per aspersió.
C22	Comelles franco-llimosa, 2-5% de pendent, molt lleugerament salí: Sòls molt profunds, ben drenats i de textura mitjana. Són sòls molt lleugerament salins, el que els fa poc aptes per cultius molt sensibles. Típicament l'horitzó superficial és de textura franco-llimosa amb un espessor d'uns 30 cm. Els horitzons subsuperficials són de textura mitjana. Poden presentar acumulacions de carbonats, i per sota, acumulacions de guix, però sempre en petita quantitat (< 2%). La velocitat d'infiltració i la conductivitat hidràulica són de moderadament lentes a moderades. La capacitat de retenció d'aigua disponible és alta. <u>Inclusions:</u> sòls de la sèrie Claver. <u>Aptitud:</u> La lleugera salinitat d'aquests sòls els fa poc aptes per cultius molt sensibles a aquest factor. Són sòls aptes per a l'ús agrícola. Són sòls molt aptes (1) per a reg localitzat i moderadament aptes (2t) per reg per aspersió.
D1	Comes franca, 2-5% de pendent: Sòls moderadament profunds, ben drenats i de textura mitjana o moderadament grossa. Típicament l'horitzó superficial és de textura franca i d'uns 25 30 cm d'espessor. Els materials fins a 70 80 cm són de textura franca o franco arenosa i estan poc estructurats. Per sota es troba una lutita o un gres generalment salins, i algun cop alcalí. <u>Inclusions:</u> sòls de fases salines de les mateixes sèries, i a la sèrie Gatell. La velocitat d'infiltració i la conductivitat hidràulica són de moderades a moderadament ràpides. La capacitat de retenció d'aigua és molt baixa. <u>Aptitud:</u> Les principals limitacions d'aquests sòls són la profunditat d'arrelament i la presència de rodals salins. Són sòls moderadament aptes per al reg per aspersió (2st) i localitzat (2s).
E1	Linyola franca, < 2% de pendent, lleugerament salina, freàtic < 100 cm: Sòls profunds, moderadament ben drenats i de textura mitjana. Presenten un nivell freàtic a uns 100 cm de profunditat, que ja era present

Codi	Descripció
	<p>abans del reg però que probablement ha pujat de nivell a partir de la posada en reg de la zona. Típicament l'horitzó superficial és de textura franca i d'uns 30 cm d'espessor. Els horitzons subjacents són de textura mitjana, presenten taques d'oxidoreducció i guix vermiforme a partir de 60 cm de fondària. La velocitat d'infiltració i la conductivitat hidràulica són moderades. La capacitat de retenció d'aigua disponible és moderada.</p> <p><u>Aptitud:</u> Són sòls aptes per a l'ús agrícola. La principal limitació pot venir donada per una manca d'oxigenació que pot provocar problemes d'asfíxia radicular, i per la presència d'una certa salinitat. Són sòls marginalment aptes per al reg (3sd).</p>
F1	<p>Marçanera franca, 2-5% de pendent: Sòls profunds o moderadament profunds, ben drenats i de textura mitjana. L'horitzó superficial té un espessor d'uns 30 cm i és de textura mitjana. Els horitzons subsuperficials són de textura mitjana, presenten una acumulació secundària de carbonats en forma de nòduls, i per sota, una acumulació de guix vermiforme i/o cristalls dins dels primers 100 cm de fondària.</p> <p><u>Inclusions:</u> sòls de la sèrie Albesa i Borró. La velocitat d'infiltració i la conductivitat hidràulica són moderadament lentes. La capacitat de retenció d'aigua és moderada.</p> <p><u>Aptitud:</u> Són sòls aptes per a l'ús agrícola. La principal limitació pot venir donada per una elevada concentració de guix a l'horitzó gípsic que pot inhibir l'arrelament a una certa profunditat (60 80 cm). Són sòls molt aptes (1) per a reg localitzat i moderadament aptes (2t) per reg per aspersió</p>
F2	<p>Marçanera franco-arenosa, 2-5% de pendent, lleugerament salina: Sòls profunds o moderadament profunds, ben drenats i de textura mitjana. Són sòls lleugerament salins, el que els fa poc aptes per cultius sensibles. L'horitzó superficial té un espessor d'uns 30 cm i és de textura mitjana. Els horitzons subsuperficials són de textura mitjana, presenten una acumulació secundària de carbonats en forma de nòduls, i per sota, una acumulació de guix vermiforme i/o cristalls dins dels primers 100 cm de fondària.</p> <p><u>Inclusions:</u> sòls de la sèrie Albesa i Borró. La velocitat d'infiltració i la conductivitat hidràulica són moderadament lentes. La capacitat de retenció d'aigua és moderada.</p> <p><u>Aptitud:</u> Són sòls aptes per a l'ús agrícola. La principal limitació pot venir donada per una elevada concentració de guix a l'horitzó gípsic que pot inhibir l'arrelament a una certa profunditat (60 80 cm). Són sòls molt moderadament aptes (2s) per a reg localitzat i moderadament aptes (2st) per reg per aspersió.</p>
G11	<p>Complex Pedrís franca-Pelagalls franco arenosa, 2 5% de pendent: Sòls soms, ben drenats i de textures mitjanes a moderadament grosses. Típicament l'horitzó superficial té un espessor de 30 40 cm i és de textura franca o franco arenosa. Per sota hi trobem una lutita o un gres, normalment salins i en algun cas fins i tot alcalins. Com a inclusions hi podem trobar afloraments de gres. La velocitat d'infiltració i la conductivitat hidràulica són de moderadament lentes a moderadament ràpides. La capacitat de retenció d'aigua és molt baixa.</p> <p><u>Aptitud:</u> Són sòls marginalment aptes per a l'ús agrícola degut a la poca profunditat d'arrelament. Si es fan anivellacions cal preservar l'horitzó superficial i evitar que la lutita o el gres quedin en superfície. Són sòls no aptes per al reg per aspersió o localitzat (6s).</p>
G12	<p>Complex Pedrís franca-Pelagalls franco arenosa, 5-10% de pendent: Sòls soms, ben drenats i de textures mitjanes a moderadament grosses. Típicament l'horitzó superficial té un espessor de 30 40 cm i és de textura franca o franco arenosa. Per sota hi trobem una lutita o un gres, normalment salins i en algun cas fins i tot alcalins. Com a inclusions hi podem trobar afloraments de gres. La velocitat d'infiltració i la conductivitat hidràulica són de moderadament lentes a moderadament ràpides. La capacitat de retenció d'aigua és molt baixa.</p> <p><u>Aptitud:</u> Són sòls marginalment aptes per a l'ús agrícola degut a la poca profunditat d'arrelament. Si es fan anivellacions cal preservar l'horitzó superficial i evitar que la lutita o el gres quedin en superfície. Són sòls no aptes per al reg per aspersió o localitzat (6s).</p>
G21	<p>Complex Pedrís franca-Pelagalls franco arenosa, 2 5% de pendent, lleugerament salí: Sòls soms, ben drenats i de textures mitjanes a moderadament grosses. Són sòls lleugerament salins, el que els fa poc aptes per cultius sensibles. Típicament l'horitzó superficial té un espessor de 30 40 cm i és de textura franca o franco arenosa. Per sota hi trobem una lutita o un gres, normalment salins i en algun cas fins i tot alcalins.</p> <p><u>Inclusions:</u> afloraments de gres. La velocitat d'infiltració i la conductivitat hidràulica són de moderadament lentes a moderadament ràpides. La capacitat de retenció d'aigua és molt baixa.</p> <p><u>Aptitud:</u> Són sòls marginalment aptes per a l'ús agrícola degut a la poca profunditat d'arrelament. Si es fan anivellacions cal preservar l'horitzó superficial i evitar que la lutita o el gres quedin en superfície. Són sòls no aptes per al reg per aspersió o localitzat (6s).</p>
G22	<p>Complex Pedrís franca-Pelagalls franco arenosa, 2 5% de pendent, moderadament salí, freàtic < 100 cm: Sòls soms, ben drenats i de textures mitjanes a moderadament grosses. El nivell de salinitat d'aquests sòls (8 16 dS/m) els fa gairebé no aptes per a l'ús agrícola. Típicament l'horitzó superficial té un espessor de 30 40 cm i és de textura franca o franco arenosa. Per sota hi trobem una lutita o un gres, normalment salins i en algun cas fins i tot alcalins. Inclusions: afloraments de gres. La velocitat d'infiltració i la conductivitat hidràulica són de moderadament lentes a moderadament ràpides. La capacitat de retenció d'aigua és molt baixa.</p> <p><u>Aptitud:</u> Són sòls marginalment aptes per a l'ús agrícola degut a la poca profunditat d'arrelament i a la elevada salinitat. Si es fan anivellacions cal preservar l'horitzó superficial i evitar que la lutita o el gres quedin en superfície. Són sòls no aptes per al reg per aspersió o localitzat (6s).</p>

De la descripció de les unitats cartogràfiques es desprèn que els sòls presents a l'àrea d'estudi són de textures mitjanes, bastant homogenis en la successió d'horitzons. Així, exceptuant algunes acumulacions massives de guix, no hi ha contrastos rellevants. Els principals factors limitants del sòl són el drenatge, la salinitat i la profunditat d'arrelament. El pendent no és un factor que afecti de forma significativa en aquesta àrea d'estudi. Amb sòls amb les mateixes propietats, el pendent, que afecta a la infiltració de l'aigua de reg, podria determinar diferències en el comportament dels cultius, sobretot si la aplicació del reg es homogenia sense zonificar en diferents unitats de maneig. Solament cal esmentar la unitat G12 (Pedrís-Pelagalls) amb un 5-10 % de pendent, on es presenten vigors baixos per l'acció combinada de la poca profunditat d'arrelament i alt percentatge de pendent que fa que hi hagi menys capacitat de retenció d'aigua disponible per a les plantes.

Pel que fa a la salinitat, cal destacar els problemes que es donen a la unitat G22, on les mesures de la CEa indiquen un greu problema que pot estar també associat a sodicitat. Aquest problema és molt menor a les unitats properes (A2 i B2), on es constata que el vigor dels cultius és més elevat.

D'acord les especificacions per a la classificació de l'aptitud dels sòls per al reg per aspersió a l'Àrea d'actuació del Canal Segarra-Garrigues, es va fer l'avaluació dels sòls per al reg per aspersió (metodologia USBR) (Taula 8). Aquest criteris es van aplicar d'acord amb tota la informació adquirida i/o analitzada en aquest estudi i el resultat es mostra a la

Figura 26, on es compara el mapa d'aptitud dels sòls per a reg amb el de les unitats cartogràfiques de sòls.

Taula 8. Especificacions per a la classificació de l'aptitud dels sòls per al reg per aspersió a l'àrea d'actuació del Canal Segarra-Garrigues.

CARACTERÍSTIQUES DE LES TERRES	CLASSES			
	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4
SÒLS (s)				
Capacitat de retenció d'aigua disponible (CRAD), fins a 120 cm	> 150 mm (Mod. baixa)	> 127 mm (Baixa)	> 60 mm (Molt baixa)	> 30 mm
Profunditat efectiva (cm)				
- A una capa de graves	> 80	> 60	> 40	> 20
- A un horitzó petrocàlcic o un horitzó hipercàlcic	> 80	> 60	> 40	> 20
- A una lutita	> 120	> 80	> 60	> 60
- A un gres	> 120	> 80	> 60	> 60
- A una roca calcària	> 80	> 60	> 40	> 20
- A un horitzó hipergípsic o petrogípsic	> 120	> 80	> 60	> 60
- A una roca de guix	> 120	> 80	> 60	> 60
Salinitat i sodicitat				
- Salinitat (dS/m)	< 4	< 8	< 16	< 4
- Sodicitat	SAR < 4	4 < SAR < 8	8 < SAR < 16	SAR < 4
Mineralogia				
- Guix (%)	< 20	< 40	< 60	< 20
- Carbonats totals (%)	< 40	< 50	< 70	< 70
- Calcària activa (%)	< 7	< 15	< 20	< 20
Facilitat de treball				
- Textura superficial	F-Ag-F-FL-F-Ar	F-Ag-L	Ag-Ag-L-Ar-F-Ar	F-FL
- Pedregositat superficial	Lleugerament pedregós	Moderadament pedregós	Molt pedregós	Moderadament pedregós
- Afloraments	Sense afloraments	Sense afloraments	Sense afloraments	Sense afloraments
TOPOGRAFIA (t)				
Pendent (%)	< 2	< 5	< 15	< 5
DRENATGE (d)				

CARACTERÍSTIQUES DE LES TERRES	CLASSES			
	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4
Necessitats i possibilitats de drenatge	Les condicions de sòl i la posició que ocupa en el paisatge són tals que fan que no siguin previsibles problemes d'entollament	La posició que ocupa el sòl en el paisatge fa que pugui tenir problemes d'entollament. És aconsellable un cert drenatge superficial	La posició que ocupa el sòl en el paisatge fa que pugui tenir problemes d'entollament. És imprescindible un sistema de drenatge artificial de forta intensitat	Les condicions de sòl i la posició que ocupa en el paisatge són tals que no es preveuen problemes d'entollament
CLASSE 6. UNITATS QUE NO REUNEIXEN LES ESPECIFICACIONS MÍNIMES				

Classe 1.- Molt apte; Classe 2.- Moderadament apte; Classe 3.- Marginalment apte; Classe 4.- Apte per a usos o tècniques específiques; Classe 6.- No apte

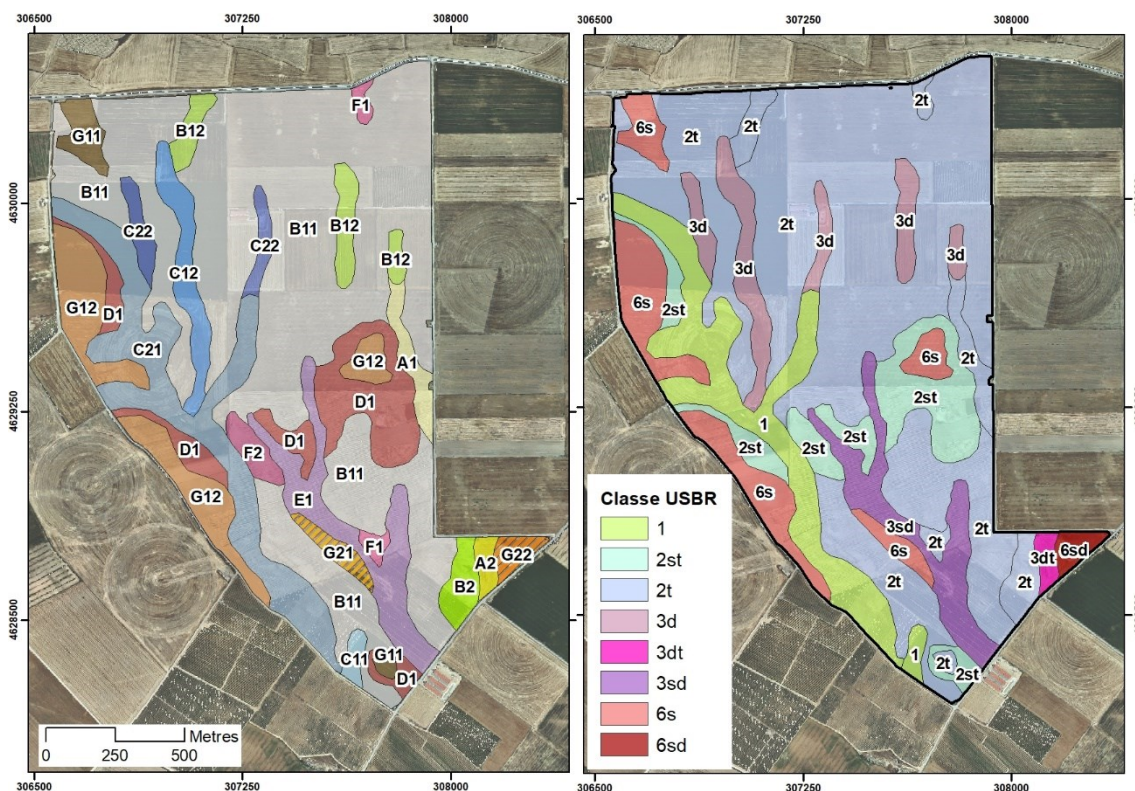


Figura 26. Dreta: Mapa d'aptitud dels sòls per a reg per aspersió segons criteris adaptats de la metodologia de l'USBR, esquerra: Mapa d'unitats cartogràfiques de sòls revisades (veure llegenda a la Figura 25).

Del mapa d'aptitud dels sòls per a reg per aspersió es dedueix que els factors limitants principals són el drenatge i la textures mitjanes-fines dels sòls, que pot provocar problemes d'entollament i asfíxia radicular, i també la salinitat. Un altre problema és la poca profunditat d'arrelament d'alguns sòls, on es pot provocar problemes d'entollament i salinitat per l'excés de reg.

8. Conclusions

El treball realitzat suposa un exemple de com les tecnologies de la informació geogràfica (Teledetecció) i de sensors pròxims de sòls (mesurador de la conductivitat elèctrica aparent CEa en continu) poden ajudar millorar el nivell de detall de mapes de sòls executats mitjançant l'ús de metodologies clàssiques basades en l'anàlisi fisiogràfica, i poder adaptar aquestes cartografies al maneig diferencial dels sòls. S'estima que amb la

utilització d'aquestes tecnologies l'esforç cartogràfic es pot reduir a un 25-50% si es compara amb el sistema convencional en què no s'utilitza la teledetecció.

Pel que fa al suport de la Teledetecció, les imatges del satèl·lit Sentinel-2 (10 m de resolució) s'han mostrat més adequades que les imatges més detallades preses amb avioneta o bé amb el satèl·lit WorldView-2 (2 m de resolució). Això és degut a que la resolució de Sentinel-2 fa la mitjana de la reflectància en superfícies de 10x10 m, i no introdueix tanta variabilitat puntual del vigor dels cultius que poden no ser degudes a la variació de les propietats del sòl (p.e. naixença deficient del cultiu, problemes puntuals de reg, etc. Així, la zonificació basada en índex de vegetació del Sentinel-2 ha permès redefinir les unitats cartogràfiques de sòls sense augmentar en excés el número d'observacions de camp.

També, en zones no cartografiades prèviament, pot ser molt útil per realitzar un mapa d'unitats de maneig, combinant aquesta informació amb el model digital del terreny i amb observacions de camp (calicates i sondejos) que identifiquen els sòls presents a cada unitat i caracteritzen les seves propietats i limitacions: fondària, textura, pedregositat, salinitat, presència de capes compactes i altres. Aquesta zonificació de la variabilitat intraparcelsaria en unitats de maneig també permet cartografiar propietats del sòl no permanents, de fet sobrevingudes amb el reg, i modificables, com per exemple un nivell freàtic elevat. La identificació d'aquest problema mitjançant les observacions de camp permet l'actuació sobre ell i la seva eliminació.

El fet de combinar informació de Teledetecció (Sentinel-2) i/o de sensors pròxims de sòls (mesurador de la conductivitat elèctrica aparent CEa en continu) amb informació topogràfica de detall (LiDAR) permet interpretar millor els resultats i relacionar els resultats amb la fisiografia del terreny i per tant, amb el tipus de sòl present.

Malgrat aquests avantatges, i pel que s'ha observat en aquesta zona pilot, no és possible identificar adequadament, sense les observacions de camp, quins són exactament els factors que afecten al desenvolupament del cultiu. Cal esmentar que les propietats del sòl que condicionen el desenvolupament dels cultius van més enllà de les característiques de l'horitzó superficial. En el cas de l'àrea d'estudi, amb sòls de textures mitjanes poc contrastants, un factor important, apart de la presència de sals en alguns indrets, ha estat la profunditat útil del sòl.

Pel que fa a la mesura de la CEa, si bé en aquest cas els resultats obtinguts amb el sensor Veris 3100 són semblants als de la Teledetecció, cal destacar alguns dels avantatges que presenta aquesta tecnologia: a) permet conèixer com pot ser la variabilitat de les propietats del sòl independentment de saber la variabilitat del vigor dels cultius; b) permet detectar diferències de les propietats del sòl que poden no afectar al vigor del cultiu actual, però poden tenir importància en altres cultius (p.e. salinitat, profunditat d'arrelament, textures fines, etc.); c) permet analitzar diferències en els horitzons superficials (p.e. textura superficial, pedregositat, etc.), o a les capes més profundes (horitzons lítics, petrocàlcics, nivells freàtics alts, etc.). A l'àrea d'estudi d'aquest treball s'ha mostrat particularment útil en la detecció de problemes de salinitat i de nivells freàtics que indiquen un drenatge deficient d'alguns sòls. Malgrat aquestes avantatges, i en comparació amb les imatges de satèl·lit de Sentinel-2, la mesura de la CEa té com a punt dèbil el seu cost en temps i en infraestructura de camp necessària.

Finalment, cal també destacar que la cartografia realitzada, a l'estar en format digital, es pot adaptar a fer recomanacions sobre el maneig diferencial del sòl en parcel·les individuals.

Annex: Fonament i protocol detallat del càlcul dels índex de vegetació acumulats a partir de sèries temporals d'imatges Sentinel-2

Objectiu: Conèixer la variabilitat dins d'una unitat de maneig de cultiu o parcel·la a partir d'índex de vegetació calculats a partir d'imatges Sentinel-2.

Fonament de desenvolupament de l'anomenat Mètode 3 Sentinel: Normalment, la variabilitat intraparcèl·laria dels cultius en base a índex de vigor es fa utilitzant una o dues imatges de dates concretes coincidents amb algun estadi fenològic significatiu (p.e. al blat de moro en V6 fins abans de la floració). En el present treball el que es proposa és anar enrere i endavant en el temps, més enllà de solament considerar imatges de moments fenològics significatius, i acumular tantes imatges amb cultiu present a les parcel·les com es pugui, calculant en cadascuna d'elles l'índex de vegetació (NDVI, GNDVI).

Procediment per al càlcul dels índex de vigor acumulats: La tria de imatges que s'ha es creu que s'adapta i representa millor aquesta variabilitat s'ha basat en la detecció de la presència d'un cultiu en el moment en el que s'ha pres la imatge, ja que de fet, l'anàlisi de la variabilitat es basa en avaluar quin és el comportament del cultiu existent que hi pugui haver en la unitat de maneig. Així, el criteri per considerar si una data concreta s'incorpora al càlcul del NDVI/GNDVI acumulat ha estat si el NDVI mig a la parcel·la en aquella data era $> 0,4$. Finalment, totes aquestes imatges d'índex de vigor seleccionades, i per a cada parcel·la, es sumen per tal de aconseguir un NDVI/GNDVI acumulat (suma de valors per píxel) que sigui capaç de discernir d'una forma més adequada quina es la variabilitat dins la unitat de la unitat de maneig. Aquestes imatges finals amb el NDVI/GNDVI acumulats seran els punts de partida per tal de poder plasmar d'alguna manera aquesta variabilitat.

Resum del procés:

1. Càlcul dels índex de vegetació NDVI/GNDVI per a cada data amb imatge disponible i útil (sense núvols) de Sentinel-2.
2. Retall de les imatges de vigor pel perímetre de cada parcel·la aminorat en 15 m cap a dintre de la parcel·la, per tal d'eliminar la influència de l'efecte vora.
3. Càlcul del valor mig de NDVI per a cada parcel·la i comprovació de si el valor mig és $> 0,4$. Aleshores es selecciona aquesta imatge de vigor per al còmput del valor acumulat en aquella parcel·la.
4. Suma dels valors acumulats de NDVI/GNDVI per parcel·la.
5. Reescalat de les imatges amb els valors acumulats per tal d'obtenir de nou uns valors de NDVI/GNDVI per unitat de maneig compresos entre 0 i 1. De fet, aquí ja no estariem parlant de NDVI/GNDVI sinó d'un nou índex que reflecteix la menor o major vigrositat dins la unitat de maneig.
6. Classificació no supervisada per tal de delimitar fins a 4 classes diferents dins la unitat de maneig, de menor a major vigrositat.